أشكال سطح الأرض

تأليـــف

محمد مجدى تراب

أستاذ الجغرافية الطبيعية

كلية آداب دمنهور – جامعة الإسكندرية

٢٠٠٥

توزيع منشأة المعارف

أسم الكتـــــاب : أشكال سطح الأرض

أســـم المــــؤلف : أ.د محمد مجدى تراب

رقـــم الإيـــــداع : ١٦٨١٣ / ٢٠٠٤

الترقيـــم الدولـــى : ٧ - ١٣٤٦ - ٠٣ - ٩٧٧

التجهيزات الفنية : أسكنر سنتر - القاهرة

كتابـــة كمبيوتـــر : المؤلـــف

طباعـــــــة : مطبعـــة الدلتـــا ت : ٥٩٠١٩٢٣ (٠٣)

الموزع : منشأة المعارف، جلال حزى وشركاه. ت/ف: ٤٨٧٣٣٠٣ - ٤٨٥٣٠٥٥

مقدمة

إن وجـــه الكوكب الذى نعيش فوقه فى تغير مستمر ، وهذه إحدى سمات الحياة نفســـها فهـــى فى تطـــور وتغير دائم . ويتغير وجه الأرض من خلال نظم بيئية مسببها الأساســـى هـــو الإشعاع الشمسى ، وخاصة الحرارة فهى التى تؤدى إلى تحريك الرياح ودفعهـــا من إقليم لآخر ، كما تعمل على تبخر الماء من سطح الأرض وإعادة تساقطه فى صـــورة أمطار ، بعضها يسقط على المسطحات البحرية مباشرة ، وبعضها الآخر يسقط على اليابس ، فينساب على سطح الأرض نحو البحار أو المحيطات، أو يغور ويتسرب فى جـــوف الأرض ليكون رصيداً من الماء الجوفى يستفيد منه الإنسان والنبات والحيوان على سطح أرضنا .

وعوامـــل التعرية والنحت من رياح ، ومياه جارية، وثلاجات، وأمواج ، ومياه باطنية تنخر فى طبقات الأحجار الكربونية ... هى أيضا عوامل نقل أو حمل، ثم إرساب، فعـــندما تحمـــل هذه العوامل نتاج ما فتته من صخور من منطقة لأخرى ، وحتما تقوم بترســـيبه على شكل فرشات رسوبية أو طبقات ، فالرياح تذرى حبات الرمل لترسبها تحت أقدام الحافات الصخرية، أو عند إصطدامها بجذوع النباتات التى تنمو فى المسطحات الســـبخية ، وترســـبها عـــلى شكل كثبان رملية فى نطاقات الصحارى الحارة أو على السهول الساحلية ، و الأنهار الجليدية عندما تنصهر ، تترك ركامالها على شكل تلال غير مصـــنفة ، أو تصب فى فيوردات عميقة تكتنفها جروف بحرية شاهقة ، توفر بيئة مواتية لصـــيد الأسمـــاك ويقتات منها الإنسان ، والأنهار تهدر وتقسو وتتشق مجاريها العميقة فى شبابها ، فتحطم وتدمر وتفتت الصخور ، وتحمل آثار تدميرها إلى حيث تنساب وتجرى ، ولكـــنها بعـــد حين وإن طال الدهر ، يضعف تيارها ويهن شبابها ، فلا تقوى على حمل

قنالها وصلصالها ، فتبنى سهولها الفيضية ودالاتها ، والأمواج القوية تحطم جروف السواحل وتنحتها بأشكال بديعة تهدى القلوب الحائرة لقدرة الله عز وجل .

هــذا هو موضوع كتابنا فهو يتناول عوامل تشكيل سطح أرضنا بسهولها ووديانها ، بسواحلها وصحاريها وقفارها ، بجبالها وأغوارها ، ويحاول التعبير عنها بكلمات وتعبيرات مبســطة ، لكــنها دقــيقة ومعبرة ، ومؤيدة بأشكال وخرائط وصور فوتوغرافية ، تكبد الكاتــب الكثير ، وواجه المتاعب حتى يصل للبيئة الطبيعية لمعظم أشكال سطوح أرضنا ، فتجول فى مختلف البيئات الطبيعية من أسكتلندا فى أقصى الشمال إلى أراضى السودان عند خط الإستواء ، ومن سواحل المغرب المُطلة على الأطلسى غرباً ، إلى مضيق ملقا وسهول تايلند وسواحل ماليزيا وسنغافورة شرقاً .

وينقسم كتابنا إلى سبعة فصول يهتم الأول منها بعمليات التجوية وحركة المواد على المنحدرات بتأثير الجاذبية الأرضية ، أما الفصل الثانى فيتناول الأشكال الجوفية النشأة سواء البنــيوية منها أو البركانية، ويدرس الفصل الثالث الأشكال النهرية (الفيضي) نحتاً ونقلاً وإرســاباً، أمــا أشــكال السواحل فكانت من نصيب الفصل الرابع ، وموضوع الفصل الخــامس هو الأشكال الناتجة عن فعل الرياح ، والفصل السادس يعالج أشكال الكارست الجيريــة ، أما الفصل السابع والأخير فهو عن الأشكال الجليدية . ويسعدنى أن أقدم هذا الكتاب المنهجى لزملائى وطلابى فى عالمنا العربى ، وأرحب بكل وجهة نظر ، أوملاحظة ونقــد موضوعى يثرى العمل ، وأرجو أن أكون قد وفقت فيما قصدت ، والله من وراء القصد ..

محمد مجدى تراب

الإسكندرية فى سبتمبر ٢٠٠٤

magdytorab@hotmail.com

أشكال سطح الأرض

الفصل الأول

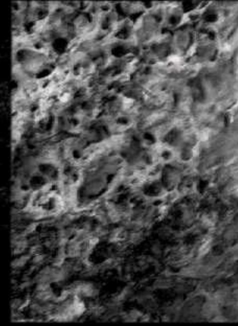
أشكال التجوية وحركة المواد على المنحدرات

أولاً: عمليات التجوية :

(أ) التجوية الميكانيكية.
(ب) التجوية الكيميائية.
(ج)الأشكال المتبقية عن عمليات التجوية.

ثانياً: حركة المواد على المنحدرات:

(أ) أنواع المنحدرات.
(ب) حركة المواد على سفوح المنحدرات.
(ج) أشكال حركة المواد على المنحدرات.
(د) تطور المنحدرات.





الفصل الأول
أشكال التجوية وحركة المواد على المنحدرات

أولاً : عمليات التجوية Weathering :

الـــتجوية عبارة عن تأثير الجو فى حالة سكون الرياح على تفكك وتحلل الصخر فى مكانه دون حركة ، وهى تنقسم إلى مجموعتين هما التجوية الميكانيكية والتجوية الكيميائية .

(أ) التجوية الميكانيكية (الطبيعية):
Mechanical (Natural) Weathering

يقصد بالتجوية الميكانيكية تفكك الصخر وتفتيته فى مكانه إلى جزيئات أصغر ، دون أن تلحق بمكوناته المعدنية أية تغيرات ، فالتجوية الطبيعية هى مجرد عملية إنتزاع قطعة من الصخر وجرشها أو سحقها وهى فى موضعها دون حركة . وتحدث التجوية الميكانيكية عن طريق عمليتين تسود كل عملية منهما فى أحد الإقليمين المناخيين التاليين:

"١" الصحارى الحارة الجافة وشبه الجافة حيثما يرتفع المدى الحرارى اليومى ، بسبب تأثير التباين الحرارى على تمدد وإنكماش المعادن الداخلة فى تكوين الصخر ، خاصة إذا إختلف معدل تمدد وإنكماش كل معدن منها ، مما يؤدى إلى تفكك وتفصد الصخر إلى جزيئات أصغر حجماً ، أو إنفصال قشور من السطح الخارجى للكتل الصخرية المجواه ، ويطلق على هذه العملية اسم التجوية الشمسية أو التجوية بالإشعاع الشمسى Insolation Weathering ، أو التجوية الحرارية Thermal Weathering.

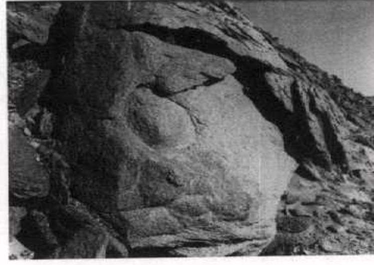
"٢" الأقاليم القطبية وشبه القطبية التى يسود فيها فعل الصقيع Frost Action التى تجمد المياه المتسربة داخل الشقوق والفواصل الصخرية ، ثم إعادة إنصهارها عند إرتفاع درجة

الحرارة مرة أخرى ، حيث يتفكك الصخر بسبب تأثير الفعل الميكانيكى الناجم عن ضغط الثلج على جوانب الشقوق والفواصل ، خاصة وأن حجم الثلج أكبر من حجم المياه قبل تجمدها .

وهناك عمليات جيومورفولوجية أخرى تقوم بعمل التجوية الميكيانية مثل : التجوية الملحية Salt Weathering ، أى تأثير الضغط الناتج عن بللورات الأملاح المتسربة داخل الشقوق والفواصل ، وهى بذلك تشبه فعل الصقيع ، وتسود هذا النوع من التجوية الميكانيكية على سواحل المسطحات البحرية والبحيرات المالحة . كما أننا لانستطيع إغفال دور الكائنات الحية فى تحطيم صخور القشرة الأرضية ، مثل القوارض والحشرات والحيوانات ، إلى جانب دور الإنسان فى تعديل المظهر المورفولوجى لسطح الأرض . وفيما يلى عرض لأهم الظاهرات أو الأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عن التجوية الميكانيكية :

١- التقشر الصخرى Exfoliation :

أصـــل مصـــطلح Exfoliation لاتينى ، وهو يتألف من كلمتين هما Ex أى يخرج أو ينكشف و Folia وتعنى أوراق النبات ، وهى عبارة عن عملية إنفصال قشور أو صفائح رقيقة أو سمـــيكة من أسطح الصخر ، ويحدث عادة فى الصخور الجرانيتية وحجر الصوان ، تحت تأثير عـــدد مـــن الظـــروف الطبيعـــية أهمها : إنزياح الضغط Unloading، التجوية الشمسية Insolation Weathering ، بالإضـــافة إلى الهدرجـــة Hydration إحـــدى عمليات التجوية الكيميائية (Goudie et al, 2004) . ويطلق على هذه العملية عدة مصطلحات من بيـــنها: الـــتجوية الشـــريطية Sheeting Weathering ، أو التقشير البصلى Onion Weathering وذلـــك لتقشر الأسطح الخارجيـــة للصخر بما يشبه البصلة (صور من ١- ١ إلى ١-٣).



صورة (١-١) تقشر كتلة من الجرانيت بوادى خداع (تصوير: محمد الشرقاوى[1]، ٢٠٠٤)

تتباين أقطار الكتل المتأثرة بعملية التقشر الصخرى من سنتيمتر واحد إلى مئات الأمتار، حيث يطلق على الكتل الكبيرة الحجم المتقشرة تعبير القباب الضخمة Mega Domes ، أو قباب التقشر **Exfoliation Domes** ، وهى تبدو كروية أو بيضاوية الشكل ، وتنشأ عادة عن وجود أنظمة المفاصل فى مسارات منحنية موازية للسطح الخارجى للكتلة الصخرية ، ويتباين سمك هذه المفاصل بحسب العمق فى إتجاه باطن الكتلة الصخرية ، فتكون متكاثفة فى شبكات متقاربة عند السطح ، ويزداد تباعدها بالداخل ، وتحت ظروف الإختلاف الكبير فى درجات الحرارة يضعف تماسك الشرائح الصخرية التى تحددها هذه المفاصل ، فتنفصل عن جسم الكتلة الأم واحدة تلو الأخرى (صورة ١-٤) (صلاح البحيرى، ١٩٧٩ "ب") .

[1] مدرس مساعد بقسم الجغرافيا – كلية آداب دمنهور ، جامعة الإسكندرية أثناء إعداده لرسالته للدكتوراه عن جيومورفولوجية منطقة رأس بناس .



صورة (١-٢) كتلة كروية من الصوان متأثرة بفعل التقشر
(تصوير : Richard Kesel 2002 , in: Slattery, 2004)



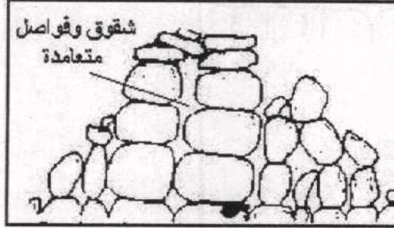
صورة (١-٣) تقشر الصخور المتحولة بالقرب من قرية "مسافى" بالإمارات
(تصوير المؤلف فى مارس ٢٠٠٤)



صورة (١-٤) قبة ناتجة عن فعل التقشر
مصدر الصورة:
http://powayusd.sdcoe.k12.ca.us/pusdmvms/Faculty/Downs/EarthScience/erosion/Images/exfoliation.jpg

٢- المظهر العمدانى Tor- Columnar Structure :

ينشأ عن تأثر الكتل الصخرية ذات النظم المتعامدة من الفواصل ، فتعمل على توغل مؤثرات التباين الحرارى وعوامل التحلل الكيميائى بالمياه ، وتتسع هذه الشقوق تدريجياً وتتحول فى النهاية إلى مجموعة من القوالب الصخرية المتراصة كقوالب الحجر .

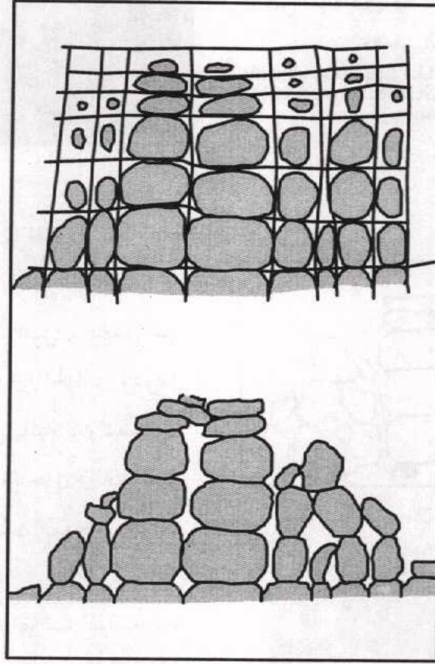


شكل (١-١) ملامح المظهر العمدانى

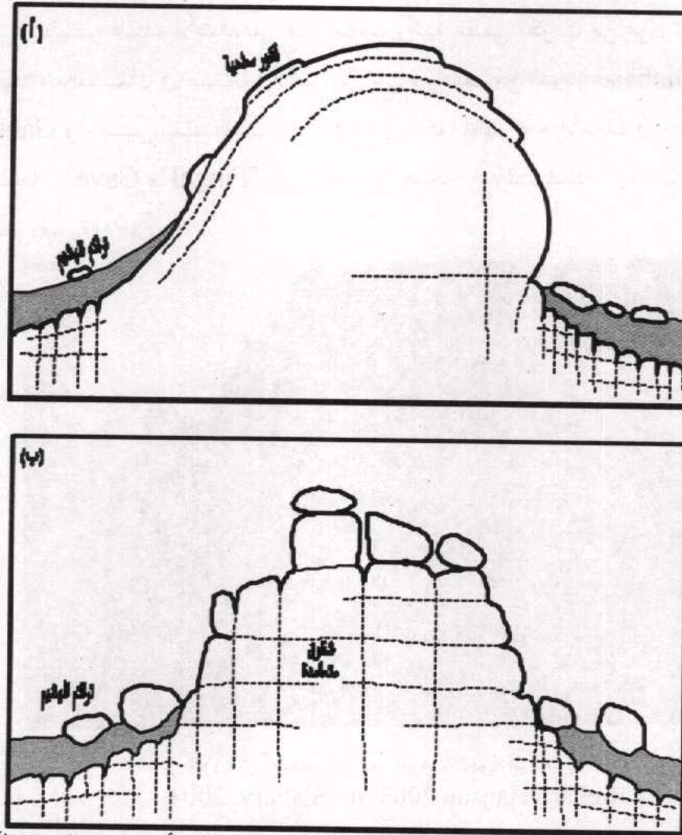
وقد تظهر هذه القوالب المتراصة أيضاً على شكل مجموعة من البيض Eggs المثبته فوق بعضها بإنتظام ، نتيجة تأثر الصخر الأصلى بنظم مفصلية متعامدة ، وتصنع معاً مجموعة من المستطيلات أو المكعبات ، وتتقوس حوافها المدُببة بتأثير عمليات التجوية، ويطلق عليها تعبير جلاميد البيض ، أو جلاميد البيض الجرانيتى Egg – Shaped Granite Boulders (أشكال من ١-١ إلى ١- ٣، وصورة ١-٥).



صورة (١-٥) تأثير الشقوق الرأسية على تكوين المظهر العمدانى فى الأحجار الرملية
(تصوير : Danny Vaughn 2002, in: Slattery, 2004



شكل (١-٢) تأثير نظم الفواصل المتعامدة على تكوين المظهر العمداني



شكل (١-٣) قبة صخرية تعرض سطحها الخارجى لفعل التقشر ثم توغل تأثير العوامل الجوية فى الكتلة الصخرية عبر نظم الفواصل المتعامدة مكونة المظهر العمدانى

٣- الأعمدة الرأسية **Columnar Sills** :

تشـــبه فى شكلها المظهر العمدانى ، ولكنها تنشأ عن برودة العروق النارية **Sills**، وقد تـــبدو هـــذه الأعمدة على شكل ثلاثى أو رباعى أو سداسى الأوجه ، ومن أوضح أمثلة هذه الأعمدة الأسوار الجانبية لنهر "هدسون" بالولايات المتحدة الأمريكية ، والمعروفة بإسم الباليسيد . The Palisades

وتظهـــر هـــذه الأعمدةعلى هيئة حافات رأسية عظمى تكونت من عرق نارى عظيم الامـــتداد والســـمك فى صـــخور العصر الترياسى ، وتتألف من الديباز Diabase والجابرو Gabbro (حســـن أبـــو العيـــنين ، ١٩٩٥) ، كما تظهر هذه الأعمدة فى منطقة كهف "فيـــنجالس Fingal's Cave" بنيوزيلندا ، وفى صخور البازلت بمنطقة " جيانت "Giant بأيرلندا (صورة ١-٦).



صورة (١-٦) أعمدة رأسية بعد تأثرها بالتجوية الميكانيكية
(Richard Hanson 2003, in: Slattery, 2004 :

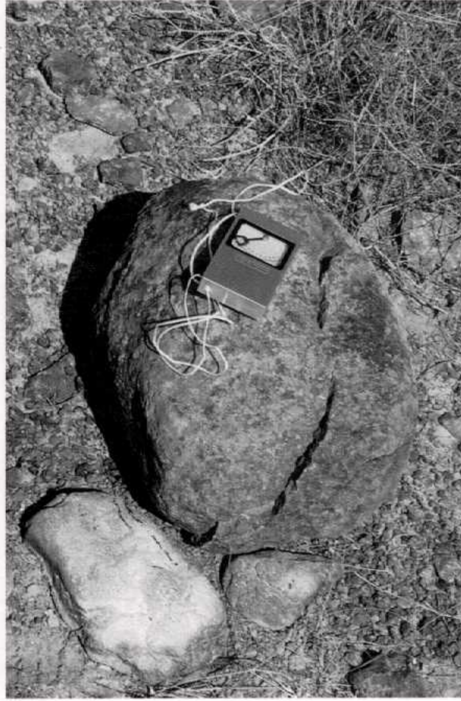
٤- التفلق الصخرى Rock Shattering :

تفلـــق أو إنفصـــال الكتل الصخرية إلى أجزاء أصغر حجماً ، وتعزو هذه الظاهرة إلى إرتفـــاع حرارة هذه الكتل خلال أيام الصيف القائظ ، فإذا ما تصادف هطول مطر زوبعى ، يؤدى هذا إلى تبريد مفاجئ لأسطح هذه الكتل ، فتنشطر إلى مجموعة من الكتل الأصغر حجماً،

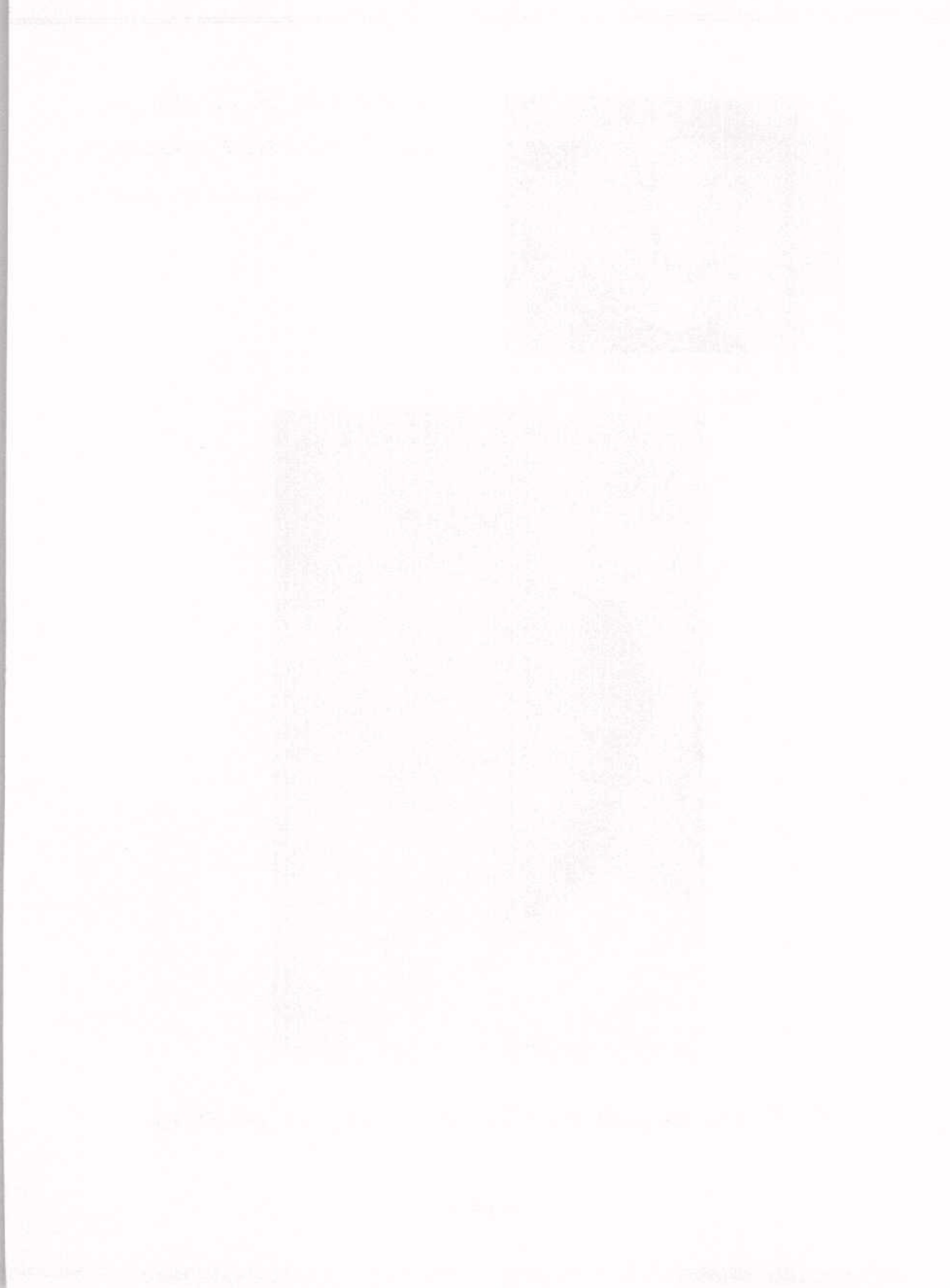
وهى بذلك أشبه بكتل الحديد الصلب التى إذا سـخنت ثم بردت فجأة بالماء إعتراها التشقق والإنكسار (صورتا ١-٧ و١-٨).



صورة (١-٧) تفلق كتلة صخرية بالقرب من بلدة "دبا" بالإمارات (تصوير المؤلف فى مارس ٢٠٠٤)



صورة (١-٨) تفلق كتلة من الصوان فى منطقة "مسافى" بالإمارات (تصوير المؤلف فى مارس ٢٠٠٣)



٥- التفكك الكتلى Block Sparation :

تكســر جسم الصخر وانقسامه إلى كتل عــلى طــول خطوط المفاصل وسطوح الإنفصال التى تمزق أجزاءه ، والتى توجد عــادة فى مجموعات مختلفة الاتجاهات ، تــتقاطع مع بعضها بزوايا شتى ، وتعمل ظروف التجوية على توسيع هذه المفاصل، وتتفكك الكتلة الصخرية الأصلية تدريجياً، وتــتأثر حوافهــا القائمة الشكل وتصبح ملســاء ومقوسة لتعاود الكرة من جديد حــتى تــتحول إلى حطــام من الجلاميد والحصى (صورة ١-٩) .



صورة (١-٩) تفكك كتلى فى الحجر الرملى

٦- التفكك الحصوى (الحبيبى) Granular Disintegration :

هــــى إنفــــراط أو تفصــــد Exudation أو تفكك حبيبات الأسطح الخارجــية مــن الصخر بإنفصال جزيئات حصــوية مــن هــذا السطح على شكل بللــورات منفردة أو مجموعات متلاصقة منها ، وتحدث عادة فى الصخور الجرانيتية عــندما تــنفرط جزيئاتها مكونة رواسب الأركوز Arkose وهى عبارة عن رمال خشنة تنتشر فى مناطق توافر هذه الصخور بالصحارى (صورة ١-١٠) .

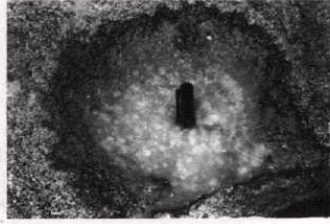


صورة (١-١٠) تفصد حبيبات الأركوز وتبعثرها على سطح الأرض الناتج عن تقشر صخور الجرانيت (تصوير : Michael Daniels (2002, in: Slattery, 2004

كمـا تـتواجد هـذه الظاهرة حيثما تتأثر الشقوق والفواصل الصخرية بتداخل بعض الحبيـبات الملحـية والثلجـيّة ، وتتحول إلى بللورات أكبر حجماً، فتنفصل بعض الحصوات وتتساقط على جانبى الفاصل ، نتيجة عملية الاحتكاك بين بللورات الثلج أو الملح على الأسطح الداخلية للكتلة الصخرية . ويطلق تعبير حوض التفكك الحصوى Exudation Basin على المنخفضـات والنـتوءات الملسـاء ، الناجمة عن إنفصال وانفراط الحبيبات من جوانب الكتل الصخرية بتأثير بللورات الثلج ، ويشيع هذا المصطلح فى العروض الباردة .

٧- التجوية الملحية Salt Weathering-Salt Fretting:

تنشأ التجوية الملحية بسبب تداخل المياه المالحة فى الـنظم المفصـلية بالمناطق الساحلية عادة، وعـلى ضفاف بعض البحيرات المالحة، حيث تتسـرب المـياه وتتبخر، وتترك ذرات الملح داخل هذه الشقوق فتساعد على تفتيت بعض مكوناتـه ، ويطلـق تعـبير وجبة الصخور Rock Meal على الفتات الناتج عن هذه العملـية ، ولا يقتصـر الأمـر على التفتت الميكانيكى للصخر، ولكن تسهم عملية الإذابة الملحيـة Sal Solution فـى التفاعل مع مكونـات الصـخر القابلة للإذابة فى المحاليل الملحية ، إلى جانب الفعل الهيدروليكى الناتج عن ضغط بللورات الملح (صورة ١-١١).



صورة (١-١١) تجوية ملحية على هوامش حفرة إذابة تتجمع بها مياه البحر الأحمر بمنطقة رأس بناس (تصوير : محمد الشرقاوى ،٢٠٠٤)

٨-تجوية الصقيع Frost Weathering :

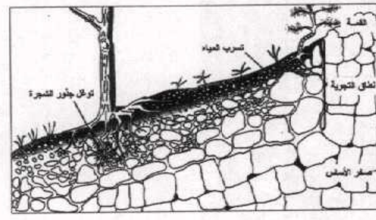
تحـدث تجوية الصقيع فى العروض القطبية وشـبه القطبـية بتأثير تسرب المياه داخل الشـقوق والفواصـل ، ثم تجمدهـا عند إنخفـاض درجة الحرارة إلى ما دون الصفر المئوى ، فيزداد حجم بللورات الثلج ، لأن من المعروف أن الثلج يتميز بزيادة حجمه بالمقارنـة بحجم المياه فى حالتها السائلة ، ولذلك تضغط بللورات الثلج على جوانب الشق أو الفاصل الصخرى فتعمل على تهشـيم الصـخر و سحقه إلى جزيئات صغيرة (صورة ١-١٢) .



صورة (١-١٢) تجوية الصقيع وتأثيرها فى توسيع الفواصل الرأسية (تصوير : Heather Viles 2002, in: Slattery, 2004)

٩- التجوية الميكانيكية بالكائنات الحية Bio Mechanical Weathering

تقـوم الكائنات الحية بدور لايستهان به فى تفكك صخور القشرة الأرضية ، فالأشجار تضـرب بجذورها فى الشقوق سعياً وراء ما هنالك من تربة هزيلة ورطوبة ، فهى بذلك تقـوم بتوسيع المفاصل ، وفى النهاية تنفصل الكتل الصخرية وتقتلع من مواضعها ، وأيضاً هناك بعض الحيوانات الأرضية مثل الجرذان والأرانب والفئران ، والحشرات تحفر مآويها فى بـاطن الأرض فتسـاعد تفتيت الصخر وإضـعافه ، كمـا تعمـل سراطين البحر على تفكيك الصخور بدخولها للشقوق والفواصل ، وتنبش الخفافيش فى أسقف الكهوف وتعمل على تفتيت مكوناتها (شكل ١-٤) .



شكل (١-٤) التجوية الميكانيكية بجذور الأشجار

١٠- روابى وتلال النمل الأبيض (Termitaria (Termite Hills :

تبدو روابى النمل الأبيض كتلال مسحوبة القمـــة ومتسعة القاعدة ، يصل إرتفاعها لنحو ٢٥ قدم ، تنتشر فى إفريقيا الإستوائية والصـــحارى الإسترالية ومنطقة "صلالة" بســلطنة عُمـــان . ويقوم النمل الأبيض White Ants ببناء هذه التلال ليتخذها كمســاكن تأويـــة ، حيـــث يقوم بفرز وتصـــنيف المواد الرسوبية ومفتتات التربة الدقيقة الحجم، التى لا تزيد أقطار حبيباتها عن المليمتر الواحد ، ويعمل على تجميعها فى كومـــات، ويفـــرز عليها بعض المواد اللاحمة من جسده ، ليبنى تلالاً بيضاء اللون تصمد كثيراً أمام غزوات عوامل التعرية ، لدرجـــة إضـــطر أمامها الإنسان لإزالتها بإستخدام المفرقعات عند تمهيد مواقع بعض المنشآت فى أستراليا (صور من ١-١٣ إلى ١-١٥).



صورة (١-١٣) تجوية ميكانيكية بالضغط الناتج عن نمو جذور شجرة داخل فاصل أفقى بمنطقة "صلالة" فى سلطنة عُمان (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)



صورة (١-١٤) مجموعة روابى قام ببناءها النمل الأبيض فى منطقة "صلالة" بسلطنة عُمان (تصوير المؤلف فى سبتمبر٢٠٠٣)



صورة (١-١٥) التركيب الداخلى لإحدى روابى النمل الأبيض فى منطقة "صلالة" بسلطنة عُمان
(تصوير المؤلف فى سبتمبر٢٠٠٣)

(ب) التجوية الكيميائية Chemical Weathering :

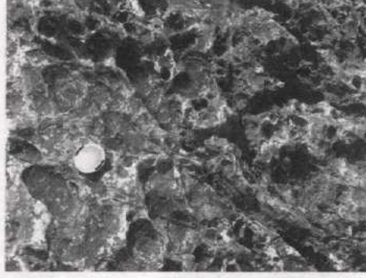
الـــتجوية الكيميائية عبارة عن تفاعل أو تأثر مكونات الصخر المعدنية بالماء أو بخاره أو أحد العناصر الجوية ، فتتحول مكونات الصخر أو بعضها إلى تراكيب جديدة تختلف عن المادة الأصلية ، وتتم هذه العملية فى موضع الصخر ودون أية حركة .

١- عمليات التجوية الكيميائية Chemical Weathering Processes:

"أ" عملية الإذابة Solution :

عـــند تجمع المياه فى الحفر والنتوءات والمنخفضات التى ترصع سطح الأرض، تبدأ المياه فى التســـرب عـــبر أســـطح الإنفصال الطبقى ونظم المفاصل وخطوط الضعف الجيولوجى الأخـــرى ، حيـــث يـــبدأ تأثير إذابة التكوينات القابلة للذوبان فى المياه ، وخاصة الملح

الصـــخرى (الهاليت) والأحجار الجيرية والدولوميت والطباشير بسبب قابلية كربونات الكالسيوم للذوبان بالماء الحامضى " يبلغ معدل حموضة Ph. R. مياه الأمطار الرقم ٧ " (صورة ١-١٦) .



صورة (١-١٦) تأثير مياه الأمطار على إذابة فى الأحجار الجيرية بجبل لبنان
(تصوير المؤلف فى يوليو ٢٠٠٢)

"ب" عملية التميؤ (الهدرجة) Hydration :

اتحاد الماء أو بخاره بأحد العناصر التي يتألف منها الصخر ، وينشأ عن هذا الاتحاد عنصر آخر أضعف تماسكاً من العنصر الأصلي ، مما يؤدي إلى إضعافه ، مثل تحول الفلسبار في الصخور الجرانيتية إلى طين الكاولين Kaolin، ومعدن إنهيدريت (كبريتات الكالسيوم اللامائية) إلى جبس (كبريتات كالسيوم مائية) كتأثر بعض أنواع الحجر الرملى المحتوية عـــلى الميكا بإتحادها بالماء وتتساقط حبيباتها أسرع من حبيبات الكوارتز ، وهناك بعض المعـــادن تكـــبر أحجامهـــا عند اتحادها بالماء ، فيترتب على ذلك زيادة عدد سطوحها الخارجية ، بينما تظل كتلتها الداخلية ثابتة ، مما يساعد على إنفصال قشورها .

"ج" عملية الأكسدة Oxidation – Oxidization :

تفاعل الأكسجين الجوي مع أحد معادن الصخر وتحوله إلى أكسيده ، وتكثر هذه العملية فى الصخور المحتوية على مكونات حديدية وبخاصة إذا كانت بمعزل عن الهواء الجوى ، وحيـــنما تتعرض للمؤثرات الجوية يتحد فلز الحديد بالماء والأكسجين ، فيتحول لونه من

الأزرق أو الرمادى إلى اللون الأحمر أو البنى ، وبالطبع تعد أكاسيد الحديد أقل صلابة من الفلز نفسه .

"د" عملية الكربنة Carbonation – Carbonization :

حيـــنما يهطل المطر يحمل معه جزءاً من ثانى أكسيد الكربون الجوى ، فيكون نوعاً من حـــامض الكربونيك المخفف ، الذى تضعف أمامه المواد الكلسية وتتحول هذه المواد إلى بـــيكربونات كالســـيوم التى تتميز بدورها بقابليتها الشديدة للإذابة فى الماء، أى أن هذه العملـــية تكـــون ملازمة لعملية الإذابة Solution وتبدو أوضح ما تكون فى المناطق الرطبة والساحلية وخاصة على طول أنظمة الفواصل الصخرية .

مياه الأمطار + ثانى أكسيد الكربون تساقط ← حامض كربونيك مخفف
حامض كربونيك مخفف + كربونات كالسيوم كربنة ← بيكربونات كالسيوم
بيكربونات كالسيوم+ ماء إذابة ← رواسب جيرية ناتجة عن تجوية كيميائية

٢- أشكال التجوية الكيميائية Chemical Weathering Landforms:

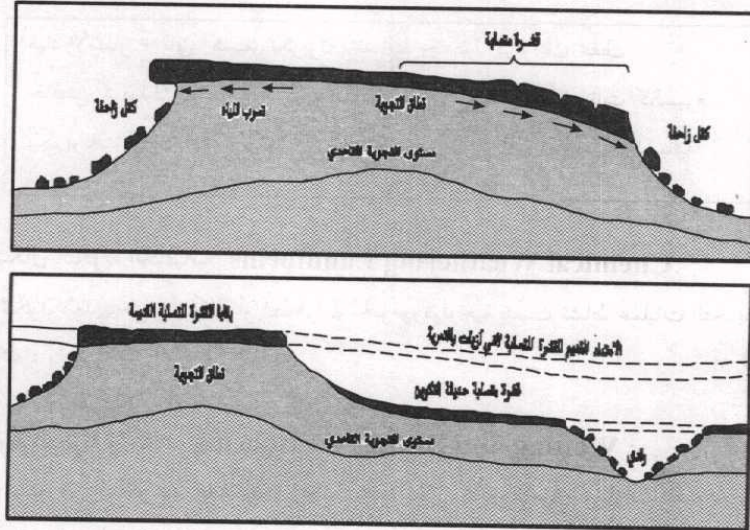
تتكون العديد من الأشكال أو الظاهرات الجيومورفولوجية بسبب نشاط عمليات التجوية الكيميائية ، أهمها ما يلى :

"أ" تجوية الرطوبة والجفاف Wetting and Drying Weathering :

تـــتعرض المناطق الساحلية للغمر والانكشاف المتوالي بتأثير الأمواج وتيارات المد والجزر فحيـــثما تتعرض الصخور للبلل والجفاف بصورة متتابعة يومياً تضعف مكوناتها القابلة للتحلل بالمياه ، وخاصة الصخور المحتوية على نسبة كبيرة من المعادن الصلصالية . وهذه العملية تكون ملازمـــة عادة للتجوية الملحية Salt Weathering . ولكن يتوقف عملها فى الصخور التى تظل مبللة بصفة دائمة (جوده ، ١٩٨٩) .

"ب" طلاء الصحراء **Desert Varnish** :

يطلــق علــيها أحياناً الأرصفة الصحراوية **Desert Pavement** أو درع الصحراء Desert Armor ، أو القشـــرة المتصـــلبة وهى عبارة عن طبقة سطحية متماسكة شديدة الاستواء ، وتتشكل من تصاعد المياه المتسربة من باطن الأرض إلى السطح مرة أخرى بالخاصية الشـــعرية ، حاملة معها الأملاح الذائبة كمحاليل مركزة ، تنقل معها المواد الملحية أو الكلسية فتعمل على شدة تماسك الطبقة الرقيقة السطحية ، وغالباً ما تكتسب هذه القطرات الصلبة ألواناً فاتحة تتألف من رواسب أكاسيد الحديد والمغنسيوم (شكل ١-٥).

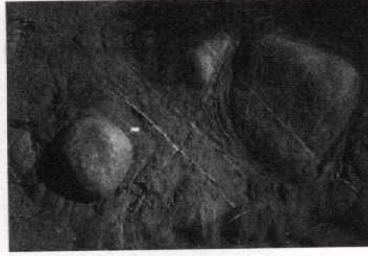


شكل (١-٥) دور القشرة الجيرية المتصلبة فى حماية سطح الأرض من التآكل والنحت بعوامل التعرية (After: Small,1989)

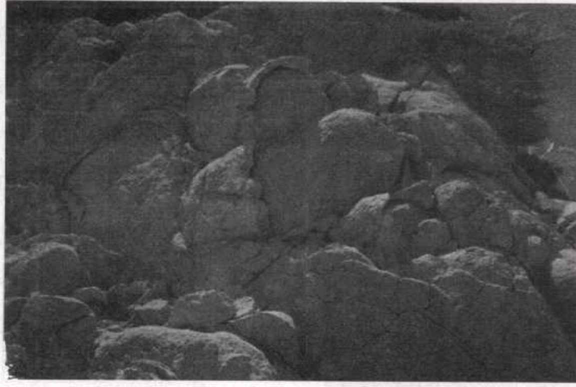
"ج" التجوية البيضاوية (الكروية) Spheroidal weathering :

تشـــبه فى مظهرها عمليات التورق الصخرى التى تحدث فى التقشر Exfoliation ، وتبدو الأسطح الخارجية للصخر مشابهة للمظهر البصلى ، ولكن تحت تأثير العمليات الكيميائية المـــتغايرة Chemical Alteration وخاصة فعل الإذابة بالمياه ، وتحدث هذه الظاهرة فى الكتل الصخرية الجرانيتية بوجه خاص والدولوميت والبازلت وأيضاً الأحجار الرملية .

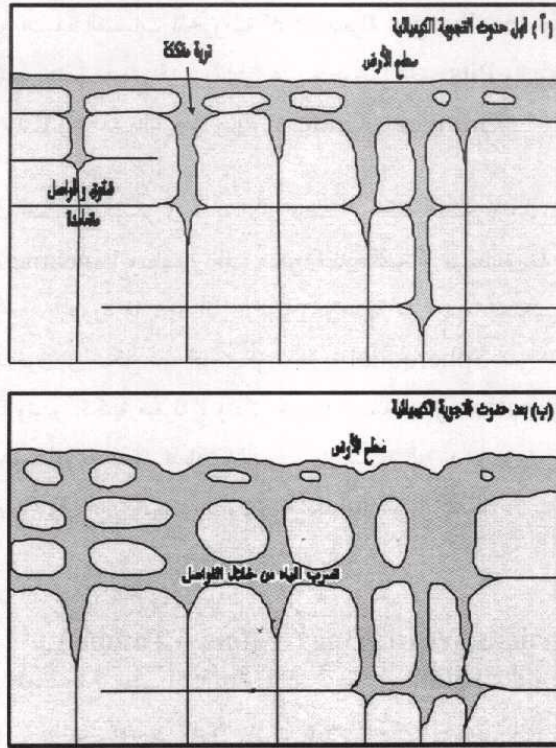
وتنتشـــر كتل الجلاميد الناتجة عن الـــتجوية البيضاوية القديمة (الحفرية) إبان فترات المطر البلايوستوسينى ، وقد ميز (Barton, 1938, P.111) بعـــض الجلاميد البيضاوي الجرانيتى فى الصحارى المصرية وأرجع نشأته إلى فترة تتراوح بين ٢٠٠٠ إلى ٥٠٠٠ سنة مضت ، وتشكل تحـــت تـــأثير الظروف المناخية الرطبة فى المناطق الصحراوية الحالية المتاخمة لأسوان ، كمـــا ميز المؤلف عدد من كتل الجلاميد الكـــروية بمـــنطقة "جـــبل قطرانى" شمال منخفض الفيوم (شكل ١-٦ ، وصورتا ١-١٧، و١-١٨).



صورة (١-١٧) بداية تأثير التجوية الكروية المتمثلة فى توسيع نظم الفواصل المتعامدة وبروز أجزاء كروية الشكل فيما بين الفواصل (تصوير : William Locke 2002, in: Slattery, 2004)



صورة (١-١٨) تجوية بيضاوية فى الأحجار الرملية
(Mike Slattery 2002, in: Slattery, 2004 : تصوير)



شكل (١-٦) مراحل تكوين التجوية البيضاوية بسبب تسرب المياه عبر الشقوق والفواصل المتعامدة (After: Small,1989)

"د" التلال المخروطية (أقماع السكر) Sugarloaves :

أطلـــق هـــذا المصـــطلح لأول مرة على بعض القباب الجرانيتية بمنطقة"ريو **Rio**" على الســـاحل الشـــرقى للبرازيل ، ثم شاع فيما بعد بالولايات المتحدة الأمريكية وخاصة بولايتى "جورجيا وكارولينا الشمالية" .

وتــبدو هــذه القــباب المخروطية كتلال منعزلة Inselberges تتألف من صخور الجرانيــت وتتميز بتقعر منحدراتها ، وتنتشر على سطوحها الحفر Pits والنتوءات والتكهفات والكهوف Caves وتتخدد بالثلوم والحذوذ Grooves – Gutters .

وتنشــأ أقمـــاع السكر فى بداية الأمر بإنفصال الكتلة الصخرية الجرانيتية عبر خطوط الضــعف Lineaments وتظهــر على شكل كتلة مكعبة أو مستطيلة تقاوم عوامل التعرية بالمقارنـــة بالأجزاء المجاورة لها ، إلا أن جوانبها وهوامشها سرعان ما تستجيب لعوامل الوهن والضــعف وتتحول إلى شكل شبه كروى أو بيضاوية Spheroodal على حين تزال الأجزاء المتاخمة لها تماماً وتبدو ككتلة منعزلة ، وتتأثر حوافها بعملية التميؤ Hydration حيث تتحد الفلسبارات ببخار الماء وتتأكسد المعادن الحديدية – المغنيسية التى تدخل فى تركيب الجرانيت ، ويتبقى الكاولين المحتوى على حبيبات الكوارتز صامداً أمام عوامل التحلل .

"هــ" تكهفات التجوية (التافونى):

Cavernous Weathering (Tafoni – Tafone)

أصــل المصــطلح إيطــالى Tafone ثم حُرف إلى Tofoni باللغة الفرنسية (بجزيرة كورســيكا) ، ويطلــق تعــبير تافونى على الكهوف الصغيرة الحجم الناتجة عن فعل التجوية الكيميائــية ، وتحــدث في الصــخور الجرانيتية الخشنة ، كما تتأثر الأحجار الرملية والجيرية والشيســت بهذه التكهفات التى تترواح أبعادها من بضعة ديسمترات وقد تصل أعماقها أحياناً إلى المــتر الكــامل ، وهــى حفر كروية الشكل مجوفة من الداخل وتشبه إلى حد ما "خوذة الجندى"، وتتميز أسطحها الداخلية بصقلها وتقوسها .

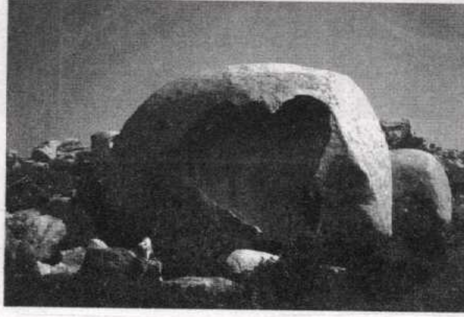
ويطلق تعبير " جانب التافونى " Side of Tafoni على الأوجه الداخلية المجوفة لهذه الــتكهفات ، وتسمى الأوجه الخارجية للكتل الجلاميدية التى لم تتأثر بفعل التجوية الكيميائية " بقاعدة التافونى" Basal Tafoni ، وتبدو تكهفات التافونى على شكل قباب التقشر ولكنها

مجوفة ومعكوسة ، ويطلق عليها أحيانا تعبير "التقشر السلبى" Negative Exfoliation ، وتحدث هذه الظاهرة بالمناطق التى تتمتع بتغيرات حادة فى درجات الحرارة بالإضافة إلى هبوب رياح قوية قادرة على إزالة المواد المتحللة من داخل هذه التجاويف .

وتنتشـــر هـــذه الظاهرة في الأقاليم المدارية وشبه المدارية وشبه الجافة ، حيث لوحظـــت بمناطق متفرقة من جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية وصحراء غرب الأرجنـــتين ، وإقليم "ناميبيا" وأجزاء من "تنجانـــيقا" ، وقرب "كردفان" بالسودان وغـــرب أســـتراليا كما ميزها المؤلف فى منطقة سانت كاترين بشبه جزيرة سيناء ، متشـــكلة فى الصـــخور الجرانيتـــية بجبل "الشيخ" (صورتا ١٩ و ١-٢٠).



صورة (١-١٩) فجوة تافونى ضخمة متكونة فى الأحجار الرملية

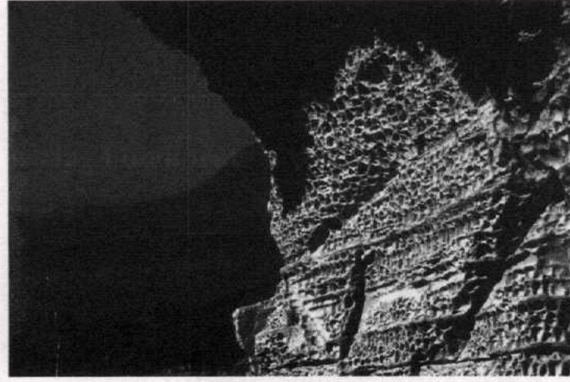


صورة (١-٢٠) تكهفات التافونى فى الأحجار الرملية
(تصوير : Heather Viles 2002, in: Slattery, 2004)

"و" تجوية خلايا النحل :

Honey Comb Weathering (Alveolar Weathering)

تتشـــابه تجوية خلايا النحل مع تكهفات التافوني من حيث عامل النشأة ، إذ أن كلاهما ينشأ عن الإذابة بفعل المياه لبعض معادن الصخر فى ظل ظروف التباين الحرارى، إلا أنها تختلف فى مظهـــرها المورفولوجـــى ، إذ تبدو كنتوءات وحفر سداسية الشكل ، تتميز بانتظام وتماثل أشـــكالها ، ولا يتعدى طول ضلعها أكثر من بضعة سنتيمترات ، وتنتشر بالنطاقات الساحلية المتأثرة بتيارات المد والجزر ، حيث تطغى مياه البحر على سطح الأرض ، فتتسرب المياه وتعمل على تحلل وإذابة مكوناتها ، إلى أن تأتى الرياح فتزيل نواتجها وتترك السطح عارياً، ترصعه بعض الحفـــر السداســـية ، ولوحـــظ إنتشار حفر خلايا النحل على طول سواحل منطقة "أوتواى Otway" بفيكتوريا غربى استراليا (صورة ١-٢١) .



صورة (١-٢١) تجوية خلايا النحل على جرف من الأحجار الرملية
(تصوير : Heather Viles 2002, in: Slattery, 2004)

"ح" التجوية العضوية Organic Weathering:

قد تحدث عمليات التجوية الكيميائية نتيجة التفاعل بين نواتج تحلل المواد العضوية النباتية والحيوانية ، أو الفضلات البشرية والحيوانية وبين بعض أنواع صخور القشرة الأرضية (جوده ، ١٩٨٩) (صورتا ١-٢٢ و ١-٢٣)مثل :-

١- تفرز أوراق وسيقان النبات المتحللة بعض المركبات العضوية القادرة على غزو المعادن الكربونية الموجودة بالصخور النارية والمتحولة، كما تتفاعل أيضاً مع المواد اللاحمة لبعض الصخور الرسوبية ، ويتخلف عن هذه التفاعلات مواد رسوبية تستطيع أن تتفاعل بدورها مع بعض المكونات الأرضية .

٢- تفاعل الفضلات البشرية والحيوانية وروث الطيور وذرق الحشرات مع عناصر القشرة الأرضية.

٣- يساعد ثانى أكسيد الكربون الذى تفرزه الحشرات والنباتات على تحلل التكوينات الجيرية.



صورة (١-٢٢) ثقوب وحفر دائرية متكونة فى الأحجار الجيرية بتأثير تحلل بعض المود العضوية فى الطحالب والأشنات بمياه الأمطار فى منطقة Rakov Skocjan بسلوفنيا (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٣)



صورة (١-٢٣) تجوية عضوية على طول نظم الفواصل الرأسية فى منطقة Rakov Skocjan بسلوفنيا (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٣)

"ط" أشكال الإذابة Solution Features :

يتركز تأثير فعل الإذابة بالمياه على الصخور الكربونية القابلة للذوبان فى المياه مثل الأحجار الجيرية والدولوميت والجبس والطباشير ، وتتعدد صور المياه القادرة على القيام بفعل الإذابة مثل: مياه المطر ، قطرات الندى المتكاثف على سطح الأرض ، الثلوج الذائبة بسبب إرتفاع درجة الحرارة، ومياه المسطحات البحرية ورذاذ الأمواج ... وغيرها ، وأهم الأشكال الناتجة عن فعل الإذابة هى :

١- حزوز الإذابة Solution Pits :

عبارة عن حزوز أو ثلوم طولية غائرة فى الصخور تبدو فى صورة متوازية ولايتعدى عمقها أكثر من بضعة سنتيمترات ، كما يطلق على حواف هذه الحزوز تعبير حافة الإذابة Solution Visor.

٢- برك الإذابة Solution Poals :

حفر دائرية أو بيضاوية الشكل تنتج عن تجمع قطرات المياه على الأسطح شبه المستوية فتعمل على تحلل مكوناها ، وقد يزداد تأثير الإذابة فتتحول هذه البرك إل فجوات عميقة وغائرة (صور من ١-٢٧ إلى ١-٣٠).

٣- قمم وبروزات الإذابة Solution Pinnacles :

أجزاء صخرية بارزة فيما بين حفر وبرك وحزوز الإذابة كأحد الأشكال المتبقية عن الفعل الكيميائى للمياه .

٤- برك الإذابة العميقة Deep Solution Pools :

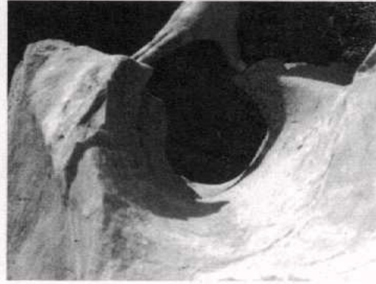
حفر دائرية عميقة غائرة فى الصخر ومتعمقه نظراً لإستمرار الفعل الكيميائى فترة زمنية طويلة بالإضافة إلى ضعف التكوينات الصخرية وقابليتها للذوبان فى المياه (صور من ١-٢٧ إلى ١-٣١).



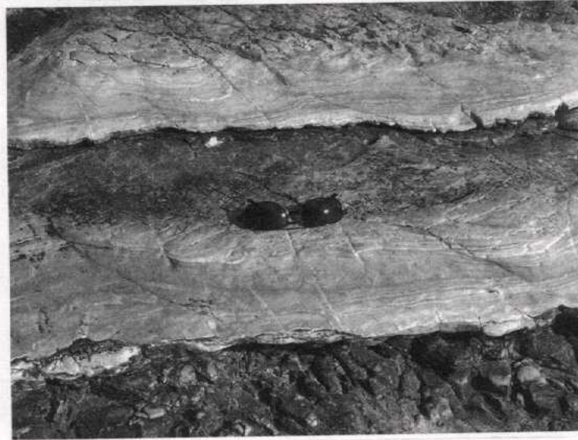
صورة (١-٢٤) حفر إذابة دائرية فى الأحجار الجيرية على ساحل جنوب مدينة بيروت
(تصوير المؤلف فى يوليو ٢٠٠٢)

٥- قنوات تشبه حرف أوميجا (Ω) Omega Channels :

قنوات طولية يبدو مقطعها العرضى دائرى الشكل مشابها لمقلوب حرف أومـــيجا اليونانى Ω، وهى تتكون بتأثير إذابة مياه الأمطار فى الأحجار الجيريـــة فى العـــروض المطيرة عادة (صورة ١-٢٥).



صورة (١-٢٥) قناة دائرية المقطع على شكل حرف أوميجا مقلوب ناتجة عن فعل إذابة الأحجار الجيرية فى منطقة Rakov Skocjan بسلوفنيا (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٣)



صورة (١-٢٦) حفر إذابة طولية فى الأحجار الجيرية قرب ساحل بيروت (تصوير المؤلف فى يوليو ٢٠٠٢)



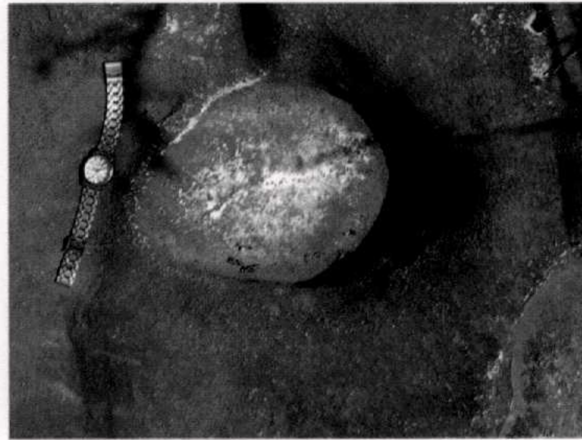
صورة (١-٢٧) فجوة ناتجة عن إذابة الأحجار الجيرية فى المرتفعات الغربية بسوريا
(تصوير المؤلف فى يوليو ٢٠٠٢)



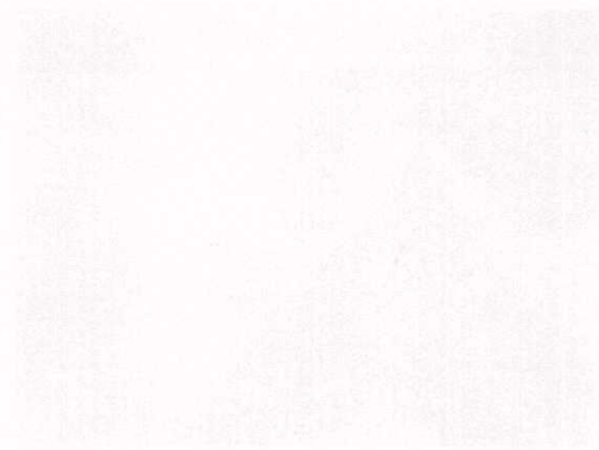
صورة (١-٢٨) ثقوب إذابة فى الأحجار الجيرية بمنطقة صلالة فى سلطنة عُمان
(تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)

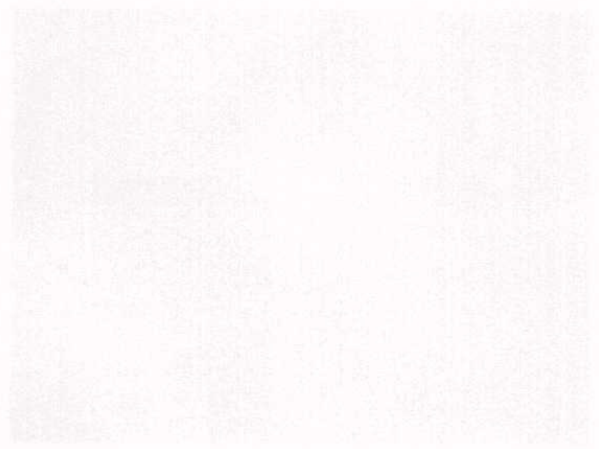


صورة (١-٢٩) نفق رأسى صغير أو ثقب إذابة متعمق فى الأحجار الجيرية بمنطقة "صلالة" فى سلطنة عُمان
(تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)



صورة (١-٣٠) حفرة إذابة بيضاوية الشكل متكونة فى الأحجار الجيرية بمنطقة "صلالة" فى سلطنة عُمان
(تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)





(ج) الأشكال المتبقية عن عمليات التجوية

Residual Features of Weathering

تشـــتمل هـــذه المجموعة من الأشكال الأرضية على مظاهر سطح الأرض التي تتبقى عن نشاط فعل التجوية بنوعيها (الميكانيكية والكيميائية) ، أى أنها تتكون نتيجة تجوية أجزاء الصخر المحيطة بها .

١- مستوى التجوية القاعدى Weathering Basal Surface:

مستوى التجوية القاعدى هو أقصى عمق يمكن أن تصل إليه مؤثرات الضعف الناجمة عن فعل التجوية ، أى الحد الفاصل بين المواد المجواه والأساس الصخرى ، وهو عادة ما يبدو وعراً وتظهر به المنخفضات والمرتفعات ، ويتحدد عمق هذا المستوى بعدة عوامل أهمها :

١- نوع الصخر ومدى مقاومته لعوامل التفكك والتحلل .

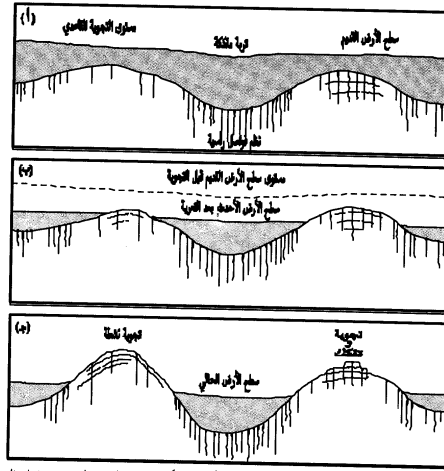
٢- طبيعة البناء الصخرى ومدى تأثره بالنظم المفصلية .

٣- المناخ ويشمل طبيعة الإشعاع الشمسى ونظام التساقط وكميته .

٤- درجة انحدار سطح الأرض .

٥- نوع الغطاء النباتى .

وكـــلما اشتدت بواطن الضعف بالصخر وازداد تأثره بالنظم الخطية يصبح فريسة سهلة أمـــام غزوات التجوية ، وتتسرب المياه إلى أعماق أكبر ، ويكون أكثر تأثراً بالتباين الحرارى ، خاصـــة بالأجزاء العارية من الغطاء النباتى وركامات المواد المجواه ، وتظهر الأجزاء البارزة من مســـتوى التجوية على شكل كتل صخرية صلدة وتلال متبقية تُعرف بأحجار القلب Core Stone (شكل ١-٧).



شكل (١-٧) مراحل إنخفاض مستوى سطح الأرض بتأثير إزالة المواد المجواه بعوامل التعرية (After: Small,1989)

ثانيا : حركة المواد على المنحدرات بتأثير الجاذبية الأرضية :

(أ) أنواع المنحدرات Types of Slopes :

تصنف منحدرات سطح الأرض وفقاً لدرجات إنحدارها وتقوس سطوحها إلى الأنواع التالية (شكل ١-٨) :

١- الجروف The Cliffs:

تتمـــيز الجروف بإنحدارها الشديد التي تتراوح بين ٤٥ و٩٠ درجة ، وهى تعد أكثر أنـــواع المنحدرات تأثراً بعوامل التجوية ، نظراً لإنكشافها أمام العوامل الجوية ، فهى تـــتكون مـــن طبقات صخرية ولاتغطيها المفتتات ، ولذلك تسمى بالأوجه المكشوفة

Free Faces ، كمــا تتحرك المواد المجواه عليها بسرعة نحو أقدام المنحدر . وتتعدد مســميات الجروف وفقاً لأقاليم تواجدها وعوامل التعرية المساهمة فى تشكيلها ، منها الجــروف الــنهرية River Cliffs الــتى تتكون على جوانب المجارى المائية بسبب عمليات التقويض الجانبى ، كما يطلق مصطلح الجروف الساحلية Coastal Cliffs عــلى المــنحدرات الشديدة المتأثرة بالنحت البحرى ، ويطلق اسم الجروف الجليدية Glacial Cliffsعلى المنحدرات المتأثرة بالنحت الجليدى .

٢-المنحدرات المستقيمة (منتظمة الإنحدار) Rectilinear Slopes:

تتمــيز المنحدرات المستقيمة بتماثل درجات إنحدارها ، ولكنها تصنف إلى منحدرات شــديدة وأخرى هينة الإنحدار ، وعادة ما تغطى أسافلها مخروطات الهشيم Talus Creeps ،الــتى تتكون من تراكم المواد المجواه على الأجزاء السفلى من المنحدر بتأثير الجاذبية الأرضية ، بينما تنكشف أجزائها العليا وتكون معرضة لتأثير عمليات التجوية، ولكــن تتمــيز المنحدرات الشديدة بزيادة نسبلة أجزائها المكشوفة العليا عن أجزائها المغطــاة بالهشيم ، والعكس صحيح فالمنحدارات الهينة تزداد بها نسبة الأجزاء المغطاة بالفتات الصخرى ، بالمقارنة بإجزائها العليا المكشوفة أمام عمليات التجوية بنوعيها .

٣- المنحدرات المحدبة Convex Slopes:

تتمثل المنحدرات المحدبة عادة فى الأجزاء العليا من الحافات الصخرية ، وهى أكثر تأثراً بعملــيات النحــت والتجوية ، وتظهر بها الشقوق والفواصل الصخرية، ويمكن تمييز المنحدرات المحدبة عند قياس قطاعات المنحدرات Slopes Profiles ، بزيادة درجات الإنحدار تدريجياً من أعلى المنحدر إلى أسافله .

٤-المنحدرات المقعرة Concave Solpes:

تتمــثل النحدرات المقعرة عادة فى الأجزاء السفلى من الحافات الصخرية ، وكثيراً ما تغطــيها المــواد المجــواه والفتات الصخرى المتحرك من أعلى المنحدر بتأثير الجاذبية

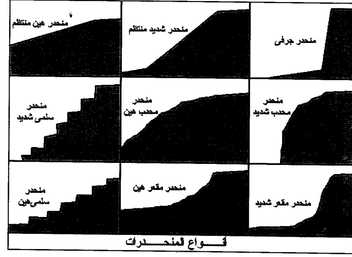
الأرضـــية. ويمكـــن تمييز المنحدرات المقعرة عند قياس قطاعات المنحدرات Slopes Profiles ، بإنخفاض قيم درجات الإنحدار تدريجياً من أعلى المنحدر إلى أسافله .

٥- المنحدرات السلمية Scalariform Slopes:

يطلـــق تعبير المنحدرات السلمية على الحافات الصخرية التي تتباين درجات إنحدارها ، فتـــبدو بعض أجزائها شديدة الانحدار تعقبها أجزاء أخرى هينة الإنحدار، وينتشر هذا النمط في الحافات الصخرية ذات الطباقية الأفقية المتفاوتة الصلابة .

٦- المنحدرات المركبة Complex Slopes:

يطلق مصطلح المنحدرات المركبة على الحافات الصخرية المكونة من منحدرات محدبة بالتتابع مع أجزاء أخرى مقعرة ، كما تدعى أحياناً باسم المنحدرات المحدبة — المقعرة Convexo-Concave ، أمـــا في حالة وجود قسم من المنحدر مستقيم يفصل بين المنحدرين المحدب والمقعر ، فيطلق على الحافة تعبير: منحدر محدب— مستقيم— مقعر Convexo- Rectilinear- Concave.



شكل (١-٨) أنواع المنحدرات

(ب) حركة المواد على سفوح المنحدرات Mass Movements :

يتوقف تحديد نمط حركة المواد على سفوح المنحدرات على مجموعة من العوامل ، يرتبط بعضها بخصائص المنحدر ، ويختص البعض الآخر بطبيعة المادة المتحركة ، وتشترك هذه المجموعة من العوامل معاً فى تحديد نوع وسرعة تحرك الفتات الصخرى فوق سطوح المنحدرات ، وتشكيل المظهر النهائى لهذه المواد بعد إستقرارها عند الحضيض ، وهذه العوامل هى (أشكال من ١-٩ إلى ١-١٦) :-

"أ" عوامل متعلقة بخصائص المنحدر :

١- نوع التركيب الصخرى وتتابعه على اجزاء الحافة :يسهل تعرية ونحت الحافات الصخرية المتكونة من صخور ضعيفة المقاومة لعوامل النحت والبرى ، ولذلك فهى تكون المادة الخام التى يسهل تحريكها بالجاذبية الأرضية .

٢- البنية الجيولوجية للحافة من حيث ميل الطبقات ودرجة النفاذية والمسامية ومدى تأثرها بالشقوق والفواصل : تعد البنية من أهم العوامل المؤثرة فى تحديد نوع وسرعة حركة المواد على المنحدرات ، فالطبقات المائلة فى نفس إتجاه المنحدر تعمل على تسهيل نحته وكشطه بتكرار تحرك المواد على سطحه ، كما تسهم درجة النفاذية والمسامية فى تسرب المياه خلال تكويناته ، وهذين العاملين يعدا من أهم ضوابط حدوث الإنزلاقات الأرضية التى تهدد الأنشطة البشرية المتاخمة لهذا النوع من الحافات الصخرية.

٣- خشونة المنحدر ودرجة وعورته : تعمل زيادة وعورة وتضرس المنحدرات على إعاقة حركة المواد على المنحدرات وتباطؤ سرعتها ، بسبب زيادة الإحتكاك بين المواد المتحركة وسطح المنحدر .

٤- درجة انحدار سطح المنحدر: تشتد سرعة المواد المتحركة على المنحدرات الشديدة، بسبب إكتساب الكتل المتحركة لقوة دفع بتأثير عجلة الجاذبية الأرضية التى تبلغ ٣٢ قدم /ثانية٢.

٥- مــدى تقوسه وطبيعة هذا التقوس (محدب أو مقعر): تشتد سرعة المواد المتحركة على الـــنحدرات المقعـــرة دون المحدبة ، أى على المنحدرات التى تشتد الأجزاء العليا من منحدراتها قياساً بأجزائها الدنيا ، مما يكسب هذه الكتل قوة دفع عند عبورها للنطاق العلوى من المنحدر يمكنها من إجتياز أجزاءه الدنيا بسرعة أكبر .

٦- معدل تقطع الحافة بالمسيلات الجبلية ، ودرجة التعميق الرأسى لهذه المسيلات : تعمل المســيلات الجبلــية على تعرية صخور سطح الأرض وتهيئة المواد المتحركة بالجاذبية الأرضية على المنحدرات .

٧- طبــيعة الغطــاء النباتى على سفوح المنحدرات : للغطاء لنباتى الذى يكسو الحافات الصـــخرية تـــأثير مـــزدوج ، فقـــد تعوق حركة هذه المواد الأشجار والشجيرات والأحراش، بينما تسهل الحشائش من حركة المواد على المنحدرات .

٨- الدرجـــة المقطوعة من مراحل تطور الحافة وتراجعها أمام عوامل التعرية :من الناحية الـــنظرية تـــبدو الحافات الشابة التى لازالت فى بداية دورتها التحاتية أشد إنحداراً من الحافات الهرمة التى قطعت شوطاً متقدماً فى دورتها ، ولذلك فالحافات الشابة تتحرك عليها المواد بصورة فجائية مما يساعد على زيادة معدلات تراجعها الخلفى .

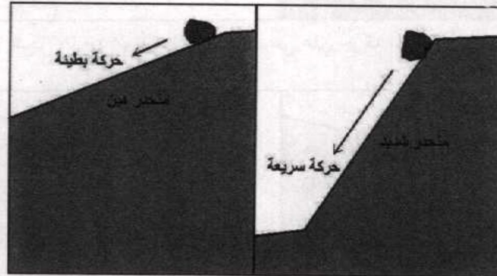
"ب" عوامل تختص بطبيعة المادة المتحركة :

١- التركيـــب الصخرى للمادة المتحركة : تتميز الكتل المتكونة من صخور لينة بسهولة نحـــت حوافها البارزة وتحويلها إلى كتل كروية الشكل تتدحرج بسهولة ويسر على المنحدرات .

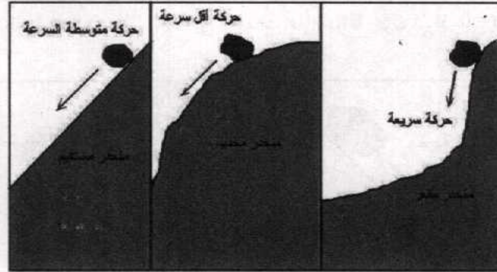
٢- حجم وكتلة الفتات الصخرى ومدى تجانسه : تكتسب الكتل الكبيرة الحجم قوة دفع بـــتأثير الجاذبية الأرضية فتزداد سرعتها على المنحدرات ، أما الفتات المساوى لها فى الحجـــم تقل سرعة تحركه على المنحدرات ذاتها لأنها لاتكتسب قوة الدفع هذه . كما أن المواد الغير متجانسة تعوق تحرك بعضها البعض ، بسبب تباين سرعة كل نمط منها.

٣- درجة استدارة الكتل الصخرية المتحركة :بالطبع تشتد سرعة الكتل شبه الكروية لخلو أطرافها من البروزات التى تعوق تحركها .

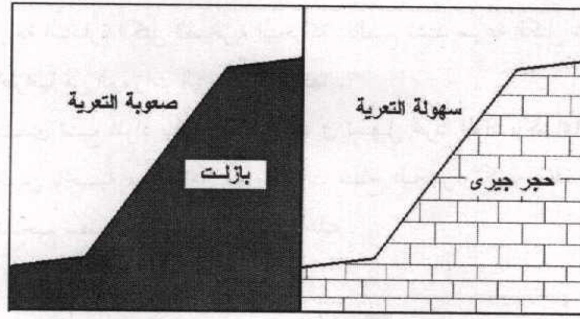
٤- مـــدى تشبع المواد بالمياه :تسهم المياه فى تسهيل تحرك المواد بإكسابها قوة دفع إضافية مـــن ناحـــية ، والتفاعل مع مكونات سطح المنحدر وتكوين مادة طينية تعمل على تشحيم سطحه وتسهل حركة المواد عليه .



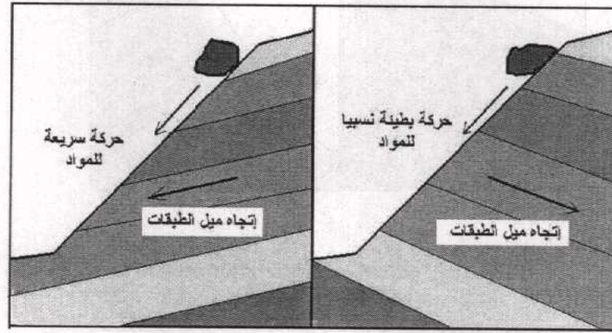
شكل (١-٩) تأثير درجة إنحدار سطح الأرض على حركة المواد على المنحدرات



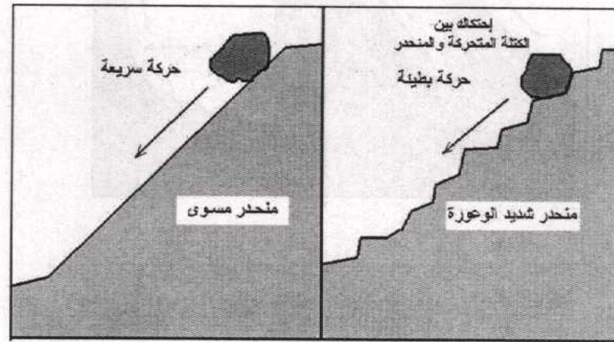
شكل (١-١٠) تأثير نمط تقوس سطح الأرض على حركة المواد على المنحدرات



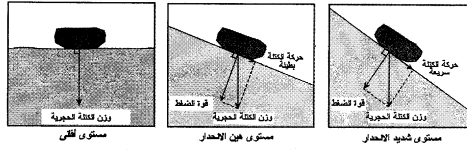
شكل (١-١١) تأثير نوع الصخر على على حركة المواد على المنحدرات



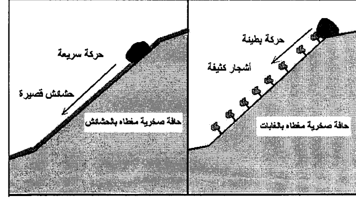
شكل (١-١٢) تأثير إتجاه ميل الطبقات على سرعة تحرك المواد على المنحدرات



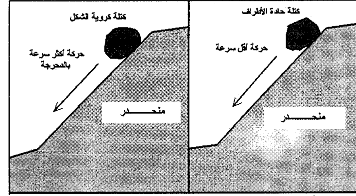
شكل (١-١٣) تأثير درجة وعورة المنحدر على سرعة تحرك المواد على المنحدرات



شكل (١-١٤) تأثير إختلاف درجة إنحدار سطح الأرض
على سرعة تحرك المواد على المنحدرات



شكل (١-١٥) تأثير نوع الغطاء النباتى على سرعة تحرك المواد على المنحدرات



شكل (١-١٦) تأثير درجة كروية الكتل المتحركة على سرعة تحرك المواد على المنحدرات

(ج) أشكال حركة المواد على المنحدرات Mass Movements Landforms:

تـــتعدد أشـــكال حركة المواد على المنحدرات بتأثير الجاذبية الأرضية ولكن يمكن تصنيف هذه الأشكال فى أربع مجموعات رئيسية يلخصها (جدول ١-١) هى :

"١" حـــركة بطيئة جافة مثل زحف الصخور أو التربة Rock Creep وزحف التربة Soil Creep.

"٢" حركة سريعة جافة مثل تساقط الصخور Rock Fall.

"٣" حركة بطيئة مشبعة بالمياه مثل بعض حالات زحف المواد المختلطة بالمياه على المنحدرات الهينة.

"٤" حركة سريعة مشبعة بالمياه مثل الإنزلاق الأرضى Landslides والتدفق أو الإنسياب الأرضى أو الطينى Earth Flow and Mud Flow .

جدول (١-١) أنماط حركة المواد على سفوح المنحدرات[1]

السقوط (التساقط)	الإنزلاق رطب-جاف شبه متجمد	التدفق (الإنسياب) تدفق جاف :	الزحف رطب -جاف شبه متجمد	الهبوط رطب - جاف شبه متجمد
١- التساقط الصخري ٢- تساقط التربة ٣- تساقط المفتتات ٤- إنهيار المفتتات	١- إنزلاق الصخور ٢- إنزلاق الحصى ٣- الإنزلاق الأرضى	١- تدفق صخري ٢- تدفق الركام ٣- نهر صخري ٤- تدفق تربة (طين-لوس-رمل) ٥- تدفق مفتتات (تدفق الحصى) تدفق رطب: ١- تدفق التربة ٢- تدفق الطين ٣- التدفق الأرضي تدفق المفتتات تدفق شبه متجمد (في العروض الباردة) ١- تدفق صخري ٢- إنزلاق التربة	١- زحف الصخور ٢- زحف المفتتات ٣- زحف الركام ٤- زحف التربة	١- الهبوط الصخرى ٢- هبوط التربة ٣- الهبوط الأرضى

(١) After : Savage, 1951 .

ولاحظ أن:

١- التربة : لا يقل حجم حبيباتها عن ٠,٠٧٩ مم

٢- المفتتات : خليط من حطام الصخور والتربة ويتراوح حجم حبيباته بين ٠,٠٧٩ إلى ٢ مم

١- زحف التربة Soil Creep:

يُعد زحف التربة من أكثر أشكال حركة المواد بالجاذبية الأرضية شيوعاً ، وهو عبارة عن حركة بطيئة تحدث على المنحدرات الهينة سواء للمفتتات أو التربة ، وتنتشر فى المناخات المعتدلة والمدارية ، ويتراوح سمك التربة المتحركة بين بضعة سنتيمترات وأكثر من ٥ أمتار، وهناك العديد من العوامل المؤثرة فى حدوث هذا النمط من حركة المواد أهمها مايلى:

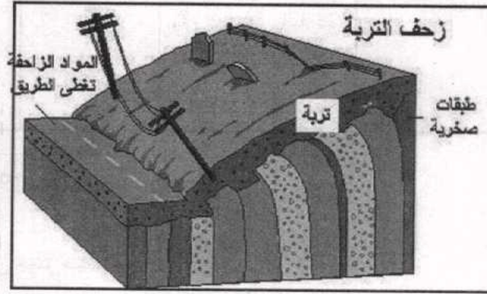
(أ) العوامل البيولوجية مثل إندساس جذور النباتات داخل نظم الفواصل ، وحفر الحيوانات والزواحف لجحورها داخل صخور المنحدر مما يساعد على تفككها.

(ب)العوامل المناخية وبصفة خاصة التباين الحاد فى درجات الحرارة الذى يسهم فى حدوث التجوية الميكانيكية للصخر ، أو حول الصفر المئوى ودوره فى حدوث تجوية الصقيع Frost Action ، إلى جانب تأثير التجوية الكيميائية الناجمة عن تتابع الرطوبة والجفاف Wetting and Drying

ويمكن ملاحظة زحف التربة بصورة غير مباشرة بالعديد من الشواهد مثل: ميل أعمدة الكهرباء والأسوار وجزوع الأشجار بسبب دفعها بتراكم هذه الرواسب عليها (شكل ١-١٧، وصورة ١-٣١).



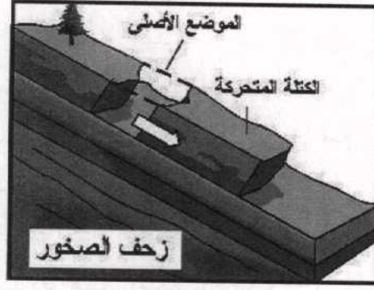
صورة (١-٣١) إنكشاف جذور إحدى الأشجار نتيجة زحف التربة (تصوير : Bernie Bauer 2002 , in: Slattery, 2004)



شكل (١-١٧) ملامح زحف التربة

٢- زحف الصخور Rock Creep :

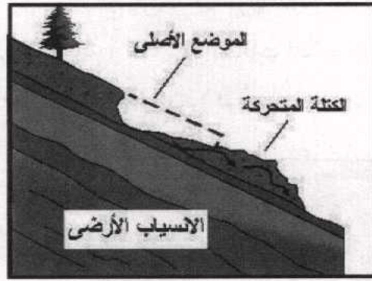
تحدث عملية الزحف الصخرى عادة في المناطق التى تتشكل من الأحجار الرملية والكونجلوميرات ، خاصة إذا كانت متأثرة بنظم الفواصل المتعامدة شديدة التكاثف ، والتى تسهم فى إضعاف الصخر وسهولة تفككه، وتتحرك هذه الكتل الصخرية عادة على منحدرات صخرية مصقولة (شكل ١-١٨).



شكل (١-١٨) ملامح زحف الصخور

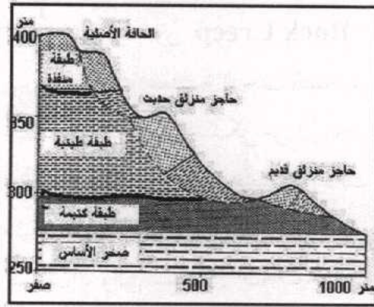
٣- التدفق الأرضى والتدفق الطينى Earth Flow and Mud Flow :

يطلق على هذه العملية أحياناً تعبير الإنسياب الأرضى ، وهى تعد من أنماط الحركة السريعة ، وهى ترتبط بحركة المواد الرطبة ، ولكن تتميز التدفقات الأرضية بضعف إنحدار سفوحها بالمقارنة بالتدفقات الطينية التى تتطلب منحدرات أشد ، وتحتوى موادها الطينية على كميات أكبر من المياه ، وهى تنتشر بالمناطق ذات الأمطار الغزيرة ، فتسبب تحرك طبقة سميكة من الطين الخالى من الكساء النباتى من إرتفاع يناهز الكيلومتر الكامل ولمسافات قد تصل إلى عشرات الكيلومترات (شكل ١-١٩) .



شكل (١-١٩) ملامح التدفق (الإنسياب) الأرضى

٤- الإنزلاق الأرضى Landslides:



شكل (١-٢٠) الحواجز المنزلقة القديمة والحديثة

إحـــدى عمليـــات حـــركة المواد الســـريعة عـــلى سفوح المنحدرات وهى تحدث بصورة فجائية على الرغم من عدم تشبع موادها بالمياه ، ولكن يتوقف تعرض الحافات الصخرية لعملية الإنزلاق على عدة شـــروط هـــى (شكلا ١-٢٠ و١-٢١، وصورة ١-٣٢):

"١" تعاقب صخور صلبة منفذة للمياه فوق طبقة سميكة من الصخور الطينية والصلصالية.

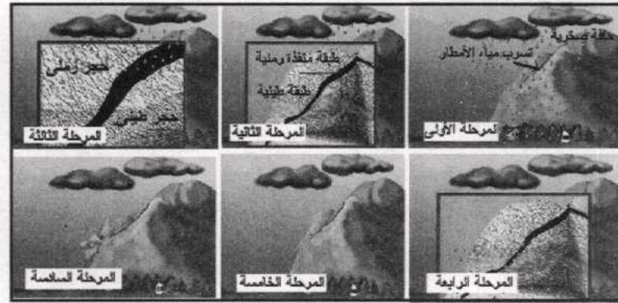
"٢" ميل الطبقات فى إتجاه المنحدر .

"٣" تشبع الطبقة الطينية بالمياه سواء المتسربة من الطبقة المنفذة العليا أو تحت سطحياً .

"٤" ندرة الغطاء النباتى الذى يعوق عملية الإنزلاق .

"٥" شدة إنحدار الحافة (أكثر من ٣٠ درجة) .

وينـــتج عن تراكم المواد المنزلقة تشكيل مجموعة من الحواجز يتفق عددها مع عدد مرات تراجع الحافة ، كما تبدو الحافات المتأثرة بالإنزلاق على شكل أقواس تشبه نعل (حدوة) الفرس Horse – Shoe وتتراكم أسفلها حواجز الإنزلاق Slide Ridges .



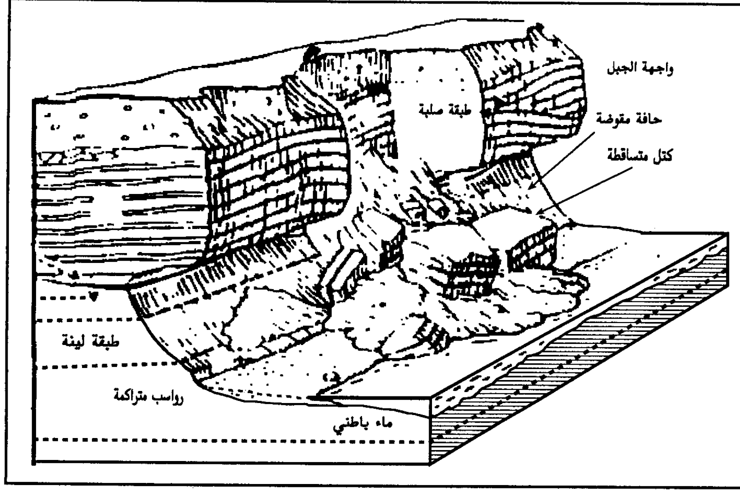
شكل (١-٢١) مراحل الإنزلاق الأرضى



صورة (١-٣٢) إنزلاق أرضي في وادي Likhu Khola في الهند
(تصوير : Keith Richards 2002, , in: Slattery, 2004)

٥- تساقط الكتل الصخرية Rock Fall :

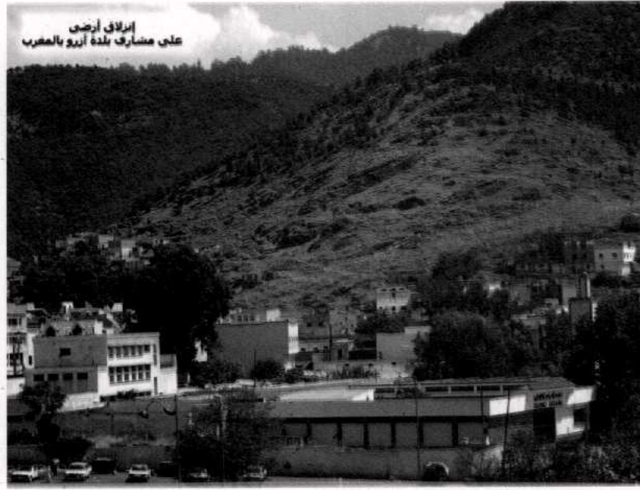
أحد أشكال الحركة الجافة السريعة بفعل الجاذبية الأرضية ، وتحدث عند أعالى الحافات الصخرية الشديدة الإنحدار والجرفية ، وبخاصة تلك المتأثرة بنظم الفواصل المتشابكة . وتتم هذه العملـــية بصـــورة فجائية في ثوان معدودة ، ودون تدخل أى عامل من عوامل التعرية ، ومن الـــنادر رؤيـــتها فى الحقـــل ، ولكن يمكن الإستدلال على زمن حدوثها بدارسة شكل الكتلة المتساقطة ، ودرجة تأثرها بعمليات النحت الحديثة من حيث الصقل ودرجة الإستدارة ، ومدى الإختلاف اللونى لقشرتها الخارجية ، ومطابقتها على القمة الأصلية لهذه الكتلة (شكل ١-٢٢).



شكل (١-٢٢) مجسم يوضح تساقط صخرى فى حافة أفقية الطبقات متأثرة بالتقويض بالماء الباطنى

٦- إنزلاق الكتل الصخرية Rock Slides- Block Glide :

مـــن العملـــيات الجيومورفولوجية النادرة وتشبه الإنزلاق الأرضى ولكن تتشكل المواد المتحركة فى هذه الحالة من الكتل الصخرية فى ظل الظروف المساعدة لحدوث عملية الإنزلاق ، وأهمهـــا تشبع الطبقة الطينية بالمياه بحيث تعمل على تشحيم سطح المنحدر فتقلل الإحتكاك بينه وبـــين الكتل المتحركة ، كما تسهم الشقوق والفواصل الصخرية المتشابكة فى سرعة إنفصال الطبقة الصخرية المنزلقة على السطح الشديد الإنحدار (صورتا ١-٣٣و ١-٣٤) .



صورة (١-٣٣) إنزلاق أرضى قرب بلدة "آزرو" بجبال أطس الوسطى فى المغرب
(تصوير المؤلف فى يوليو ٢٠٠٣)



صورة (١-٣٤) إنزلاق أرضى فى وادى "باسبا Baspa" بجبال الهيمالايا بشمال الهند:
(Vikram Gupta 2002, , in: Slattery, 2004 : تصوير)

٧- الهبوط الأرضى Subsidence :

تحدث عملية الهبوط الأرضى تحت تأثير عدد من الظروف المساعدة هى (شكل ١-٢٣) :-

"١" تحلـــل الطبقة السفلية للمنحدرات السطحية بتأثير الماء الباطنى وخاصة بفعل الإذابة للأحجار الجيرية ، وتعرض أسقف الكهوف الجيرية للهبوط والإنهيار .

"٢" إختلال توازن أسقف المناجم وهبوط الطبقات السطحية للمنجم .

"٣" عدم ثبات رواسب الطفل الجليدى السفلية وهبوط الرواسب التى تعلوها .

"٤" الضغط الناتج عن تراكم الرواسب والمفتتات الصخرية فوق طبقات هشة .

"٥" هبوط أجزاء من المدن والطرق والســكك الحديدية بسبب تآكل مواد النحت السطحية .

"٦" وجـــود الآثار البشرية المدفونة تحـــت الأرض مثل المدن التاريخية القديمـــة مـــثل مدينة الإسكندرية الحالـــية المشـــيدة فوق بقايا مدينة تاريخية قديمة فى نفس موقعها.



شكل (١-٢٣) ملامح الهبوط الأرضى

٨- منحدر البيدمونت Piedmont :

يطلق على منحدر البيدمونت أحياناً تعبير نطاقات حضيض الجبال Mountain Foot Zones وهو يتألف من العناصر الآتية (من أعلى لأسفل) (شكل ١-٢٤):

"أ" قمة الجبل Mountian Top :

نعنى بها الجزء العلوى من الحافة الصخرية وكثيراً ما تكون متأثرة بنظم الشقوق والفواصل وظروف التجوية بنوعيها ، مما يساعد على شدة نحتها وتراجعها خلفياً .

"ب" واجهة الجبل Mountain Front :

ويمـــثل مـــنحدر الجبل Mountain أو الحافة Scarp وتتميز بشدة إنحدارها الذي يصـــل أحـــياناً إلى الجرف القائم تماماً ، وترتبط الأجزاء المحدبة من المنحدر بمكاشف الصـــخور الصـــلدة ، أما الصخور اللينة فتتفق مع الواجهة المقعرة للمنحدر، ولذلك يتفاوت معدل تراجع المنحدر تبعاً لمدى صلابته ، ومرحلة تطوره التحاتي .

" ج" زاوية البيدمونت Piedmont Angle :

ويطلـــق عليها أحياناً تعبير كوع الجبل (المنحدر) Mountain Knick وهي تمثل موضـــع إتصال واجهة الجبل أو المنحدر وسطح الأرض المتاخم لها . وكثيراً ما تنطمر زاويـــة البيدمنـــت أسفل مراوح رسوبية عظيمة السمك ، متراكمة من الحافات التي تعلوها ، ولكن في كثير من الأحيان تنكشف منطقة الكوع بسبب نشاط عوامل نقل المواد من الجزء العلوى من سهل البيدمنت Pediment.

"د" سهل البيدمنت Pediment Plain:

ســـهل صـــخرى هين الإنحدار يقع أســـفل كوع الجبل مباشرة نزلاً إلى الباجادا أو النطاق الرسوبى الفيضى Allluvial Zone ويظهر سهل البيدمنـــت مقعـــراً فى مظهره العام ويـــنحدر إنحـــدار هيناً لا يزيد عن الســـبع درجات . ويتفاوت إتساعه بـــين بضعة أمتار ونحو الكيلومتر ، ويـــتألف قســـمة العلوى من سطح مصقول نتيجة إندفاع المواد الزاحفة عـــلى ســـطحه ، حتى تفقد طاقة حركـــتها فتترسب تدريجياً مكونة نطاق الباجادا الرسوبى .



شكل (١-٢٤) عناصر أو أجزاء المنحدر

٩- مخروط الهشيم :

Cliff Debris-Scree-Talus Cone –Talus Creep

يــُطلق مصطلح مخروط الهشم " التيلاس" الفرنسى الأصل على الحطام الصخرى المتجمع ككومات متراكمة تحت أقدام الحافات الصخرية الشديدة الإنحدار ، بتأثير الجاذبية الأرضية تحت ظروف المناخ الصحراوى الجاف ، والمعتدل البارد ، وأيضاً المناطق القطبية ، ولكن تتباين أشكال هذه المخروطات وأحجامها تبعاً لمدى تأثر الحافات بعوامل التعرية ، واختلاف معدل تراجعها، وعامل التعرية السائد ، إلى جانب طبيعة وحجم المواد التى تتألف منها هذه الكومات الهرمية الشكل .

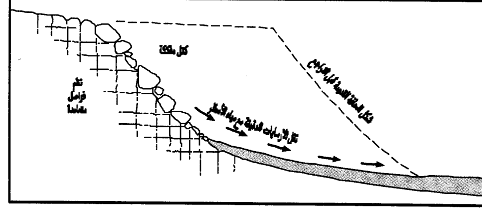
وتصـــنف المواد المكونة للمخروط الرسوبى حسب أحجامها ، فنجد أن معظم الجلاميد والكـــتل الصـــخرية الكبيرة الحجم تنحدر بسرعة نحو أقدام الحافات ، وتعلوها الكتل المتوسطة والحصى والحصباء ، أما الرواسب الرملية والأتربة الدقيقة فتغطى أعالى المخروط ، وعند سقوط الأمطـــار تـــتحول هـــذه الأتـــربة إلى مادة لاصقة تعمل على حماية جسم المخروط الرسوبى (صورة ١-٣٥) (شكل ١-٨).

(د) تطور المنحدرات Slopes Evolution :

تـــتعرض مـــنحدرات ســـطح الأرض لتغيرات واضحة عبر الزمن سواء فى أشكالها أوقطاعاتها التضاريســـية، حيـــث تتأثر المنحدرات بفعل عمليات التجوية وخاصة عند قممها وفى أقسامها العليا، وتـــتحرك المواد المجواه على سطح المنحدر بتأثير الجاذبية الأرضية ، وتتحدد سرعة تحرك هذه المواد على عدة ضوابط سبق معالجتها فى الصفحات السابقة ، وتتراكم فى النهاية على حضيض المنحدرات مكونة ما يعرف باسم مخروط الهشيم Talus Creep، ومع استمرار هذه العمليات لفترات زمنية طويلة تتراجع الحافات الصخرية خلفياً ويتحول للشكل المحدب ، على حين تتجمع نواتج المواد المتحركة على حضيض المـــنحدر فيتحول مظهره للشكل المقعر (شكلا ١- ٢٥، ١-٢٦). ولكن لا تتراجع جميع أجزاء الحافة الصخرية بمعدلات متماثلة ، فللضوابط الجيولوجية دوراً واضحاً فى تحديد هذا المعدل من حيث:

١. ليثولوجـــية الصـــخر ومـــدى مقاومته لعوامل النحت ، ونسبة النفاذية والمسامية بين حبيبات الصخر ، وطبيعة المادة اللاحمة لهذه الحبيبات

٢. ظـــروف البنـــية الجيولوجـــية وخاصة درجة وإتجاه ميل الطبقات الصخرية ، ومدى تعرضها لحركات الطى والتصدع .

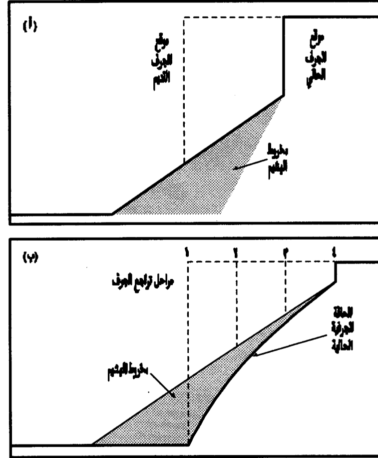


شكل (١-٢٥) تراجع حافة صخرية وتحولها لحافة مقعرة التقوس

وقـــد ســـاهم العديـــد من الجيومورفولوجيين بوضع نماذج توضح مراحل تطور سفوح المـــنحدرات ، فقد وضع **وليم موريس دافيز** W.M. Davisتصوراً لمراحل تطور منحدرات

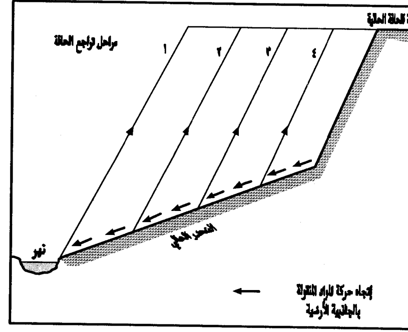
السـفوح من خلال دراسته للدورة التحاتية البسيطة وتطبيقها على منحدرات جوانب المجارى النهرية ولخصها فيما يلى (حسن أبو العينين ، ١٩٩٥عن Davis,1954)فيما يلى:

١. يظهر المنحدر فى بداية الأمر شديد الانحدار مستقيماً ومنتظماً إلى حد كبير.
٢. تتأثر الأجزاء العليا من المنحدر بعمليات التجوية وعوامل التعرية وتشكل قسماً محدباً.
٣. تتجمع المواد المتحركة على حضيض المنحدر وتكون قسماً مقعراً .
٤. يكون تتابع التحدب/التقعر شديدً فى مرحلة الشباب ، ثم يقل تدريجياً مع تتابع الدورة التحاتية إلى أن يصل لأقل درجة فى مرحلة الشيخوخة.



شكل (١-٢٦) مراحل تراجع الجروف الرأسية وتكوين مخروط هشيم من نواتج تجوية الحافة المتراجعة

أمـــا فالتر بنك W.Penk فقد أقترح التراجع المتوازى لمنحدرات السفوح The Parallel Retreat Model ، وأشـــار إلى أن السفح يتراجع خلفياً عن شكله الأصلى بصورة منتظمة ومتوازية وبدرجات متساوية ، على إفتراض تجانس الظروف الجيولوجية للمنحدر وعدم تقطع أجـــزاءه بالمسيلات الجبلية ، ومع استمرار تراجع المنحدر خلفياً يتكون المنحدر القاعدى الذى يمـــثل السطح الحالى للسفح ، الذى يزداد طوله تدريجياً مع توالى عملة التراجع الخلفى للمنحدر الأصلى (شكل ١-٢٧).



شكل (١-٢٧) تراجع متوازى لحافة صخرية

قائمة المراجع:

أولاً : مراجع باللغة العربية :

١-جودة حسنين جودة ، ١٩٨٩ : الجيومورفولوجيا ، دار المعرفة الجامعية ، الإسكندرية.

٢-جـــودة فتحى التركمانى ، ٢٠٠٣ : أشكال السطح ، دراسة فى أصول الجيومورفولوجيا ، بدون ناشر ، القاهرة.

٣- حســـن سيد أحمد أبوالعينين ، ١٩٩٥: أصول الجيومورفولوجيا ، الطبعة الحادية عشرة ، مؤسسة الثقافة الجامعية ، الإسكندرية.

٤-حســـن رمضـــان سلامة ، ١٩٨٣: مظاهر الضعف الصخرى وآثارها الجيومورفولوجية، دمشق.

٥-صـــلاح الديـــن بحـــيرى ، ١٩٧٩(أ) : جغرافية الصحارى العربية ، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم ، معهد البحوث والدراسات العربية ، القاهرة.

٦----------- ، ١٩٧٩ (ب): أشكال سطح الأرض ، دار الفكر العربى ، دمشق.

٧-محمـــد صبرى محسوب ، ١٩٩٨: جيومورفولوجية الأشكال الأرضية ، دار الفكر العربى ، القاهرة.

٨-------------، ٢٠٠١: الأطلس الجيومورفولوجى ، معالجة تحليلية للشكل والعملية، دار الفكر العربى ، القاهرة.

٩- محمد مجدى تراب ، ١٩٩٦: أشكال الصحارى المصورة، منشأة المعارف ، الإسكندرية.

١٠- يحى عيسى فرحان ، ١٩٨٣: مورفولوجية المنحدرات فى مناطق مختارة من وسط الأردن، منشورات جامعة اليرموك ، اليرموك .

ثانياً : مراجع بلغات أجنبية :

1. Ahmed, M., J.W. Smith, and S.C. George, 1999, Effects of biodegradation on Australian Permian coals: Organic Geochemistry, v. 30, p. 1311-1322.
2. Barton, D.C., 1938, Discussion: The disintegration and exfoliation of granite in Egypt, J.Geol.,v. 46,109-111.
3. Benedict, L.G., and W.F. Berry, 1964, Recognition and measurement of coal oxidation: Monroeville, PA, Coal Research, 41 p.
4. Calemma, V., R. Rausa, R. Margarit, and E. Girardi, 1988, FTIR study of coal oxidation at low temperature: Fuel, v. 67, p. 764-770.
5. Carson, M.A., and Kirkby, M.J., 1970, Hillslope form and process: London, Cambridge University Press, 475 p.
6. Chandra, D., 1962, Reflectance and microstructure of weathered coals: Fuel, v. 41, p. 185-193.
7. Chang, S., and R.A. Berner, 1999, Coal weathering and the geochemical carbon cycle: Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 63, p. 3301-3310.
8. Chigira, M., and T. Oyama, 2000, Mechanism and effect of chemical weathering of sedimentary rocks: Engineering Geology, v. 55, p. 3-14.
9. Clayton, J.L., and P.J. Swetland, 1978, Subaerial weathering of sedimentary organic matter: Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 42, p. 305-312.
10. Clemens, A.H., T.W. Matheson, and D.E. Rogers, 1991, Low-temperature oxidation studies of dried New Zealand coals: Fuel, v. 70, p. 215-221.
11. Crawford, D.L., ed., 1993, Microbial transformations of low rank coals: Boca Raton, CRC Press, 223 p.

12. Crelling, J.C., R.H. Schrader, and L.G. Benedict, 1979, Effects of weathered coal on coking properties and coke quality: Fuel, v. 58, p. 542-546.

13. Davidson, R.M., 1990, Natural oxidation of coal: IEA Coal Research, publication 29, 76 p.

14. Davidson, R.M., 1991, Natural oxidation of coal: University of Kentucky Center for Applied Energy Research, Energeia, v. 2, no. 2, p. 1-4.

15. Davis, W. M., 1954, Geographical Essays, ed. By D. W. Johnson, Dover, N. Y.

16. Dunlop, N.F., and R.B. Johns, 1999, Thermally induced chemical changes in the macromolecular structure of an Indonesian coal: Organic Geochemistry, v. 30, p. 1301-1309.

17. Fairbridge,R.W.,1969, The encyclopedia of Geomorphology, John Wiley & Sons Inc., New York, 1295p.

18. Fredericks, P.M., P. Warbrooke, and M.A. Wilson, 1983, Chemical changes during natural oxidation of a high volatile bituminous coal: Organic Geochemistry, v. 5, p. 89-97.

19. Goudie, A.S.(Edit.), 2004, Encyclopedia of Geomorphology, International Association of Geomorphology, New York,1156p.

20. Gray, R.J., and D.E. Lowenhaupt, 1989, Aging and weathering, in R. Klein and R. Wellek, eds., Sample selection, aging, and reactivity of coal: New York, John Wiley & Sons, p. 255-334.

21. Huggins, F.E., G.P. Huffman, G.R. Dunmyre, M.J. Nardozzi, and M.C. Lin, 1987, Low temperature oxidation of bituminous coals: its detection and effect on coal conversion: Fuel Processing Technology, v. 15, p. 233-244.

22. Ingram, G.R., and J.D. Rimstidt, 1984, Natural weathering of coal: Fuel, v. 63, p. 292-296.

23. Isaacs, J.J., and R. Liotta, 1987, Oxidative weathering of Powder River basin coal: Energy and Fuels, v. 1, p. 349-351.

24. Jackman, H.W., R.L. Eissler, and F.H. Reed, 1957, Weathering of Illinois coals during storage: Illinois State Geological Survey Circular 227, 22 p.

25. Klein, R., and R. Wellek, eds., Sample selection, aging, and reactivity of coal: New York, John Wiley & Sons, 469 p.

26. Landais, P., R. Michels, J. Kister, J.-M. Dereppe, and Z. Benhedda, 1991, Behavior of oxidized type II kerogen during artificial maturation: Energy Fuels, v. 5, p. 860-866.

27. Leythaeuser, D., 1973, Effects of weathering on organic matter in shales: Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 37, p. 113-120.

28. Littke, R., 1993, Deposition, diagenesis and weathering of organic matter-rich sediments: New York, Springer-Verlag, Lecture Notes in Earth Sciences 47, 216 p.

29. Lopez, D., Y. Sanada, and F. Mondragon, 1998, Effect of low-temperature oxidation of coal on hydrogen-transfer capability: Fuel, v. 77, p. 1623-1628.

30. Martinez, M., and M. Escobar, 1995, Effect of coal weathering on some geochemical parameters: Organic Geochemistry, v. 23, p. 253-261.

31. Mathews, W.H., and R.M. Bustin, 1984, Changes associated with natural in situ weathering of a coking coal from southeastern British Columbia: Fuel, v. 63, p. 548-550.

32. Nelson, C.R., ed., 1989, Chemistry of coal weathering: New York, Elsevier Science Publishers, Coal Science and Technology, v. 14, 230 p.

33. Ollier, C.D., 1984, Weathering: New York, Longman, 280 p.

34. Oyama, T., and M. Chigira, 2000, Weathering rate of mudstone and tuff on old unlined tunnel walls: Engineering Geology, v. 55, p. 15-27.

35. Peucker-Ehrenbrink, B., and R.E. Hannigan, 2000, Effects of black shale weathering on the mobility of rhenium and platimum group elements: Geology, v. 28, p. 475-478.

36. Pisupati, S.V., and A.W. Scaroni, 1993, Natural weathering and laboratory oxidation of bituminous coals: organic and inorganic structural changes: Fuel, v. 72, p. 531-542.

37. Savage,C.N., 1951, Mass wasting classification and damage in Ohio,Ohio J Sci, v.51, No.2, 299-308.

38. Slattery, M.,(ed.) 2004, Atlas of Geomorphology on CD., Christian University, Texas.

39. Selby, M.J., 1993, Hillslope materials and processes: Oxford, Oxford University Press, 451 p.

40. Small,R.J.,1989, Geomorphology and Hydrology, Longman, New York,177p.

الفصل الثانى
أشكال جوفية (تكتونية)



أولا: أشكال الطبقات الصخرية الأفقية.
ثانياً: لأشكال الطبقات الصخرية المائلة.
ثالثا: أشكال إلتوائية.
رابعاً: أشكال إنكسارية (صدعية).
خامساً: أشكال بركانية.

الفصل الثانى
أشكال جوفية (تكتونية)

تعمل مجموعة من العوامل مصدرها جوف الأرض فى دأب على زيادة تضرس القشرة الأرضية بأن ترفع بعض الأجزاء وتغور بالبعض الآخر ، وتعرف بالعوامل الداخلية أو الباطنية Endogenetic Agents ، وهى بذلك تتوازن مع الآثار المترتبة على نشاط مجموعة العوامل الخارجية من تجوية ومياه جارية وجوفية ورياح ، وغيرها من العوامل المسئولة عن نحت المناطق البارزة من اليابس ، ونقل مفتتاتها لتملأ المواضع المنخفضة والنتواءات والفجوات لتجعل سطح الأرض أكثر إستواءاً .

وتنقسم العوامل الباطنية إلى مجموعتين هما: العوامل التدريجية البطيئة التى يستمر تأثيرها لفترات زمنية طويلة قد تصل لمئات الملايين من السنين ، مثل حركات الطى والثنى (الإلتواءات المحدبة والإلتواءات المقعرة) والإنكسارات (الصدوع) ، والعوامل الفجائية السريعة مثل الإنبثاقات البركانية ، والهزات الزلزالية ، والفورات الحارة .

ويتناول هذا الفصل الأشكال الأرضية التى تنشأ بتأثير العوامل الباطنية ، وتشتمل على خمس مجموعات هى :

١- أشكال الطبقات الصخرية الأفقية .
٢- أشكال الطبقات الصخرية المائلة .
٣- أشكال إلتوائية .
٤- أشكال إنكسارية (صدعية) .
٥- أشكال بركانية .

أولاً : أشكال الطبقات الصخرية الأفقية:

تعد الطبقات الصخرية الأفقية أحد نظم البنية الجيولوجية Structure وتتسم بعدة خصائص أهمها ما يلى :

١- يبلغ ميل طبقاتها Dip القيمة (صفر) .

٢- يتساوى سمكها الحقيقى True Thickness مع سمكها الرأسى Vertical Thickness.

٣- تظهر مكاشفها الصخرية سواء العلوية أو السفلية موازية لخطوط الكنتور .

٤- ترسم على الخرائط الجيولوجية والجيولوجية بالرمز (+)

وفيما يلى أهم الأشكال الجيومورفولوجية المرتبطة بالطبقات الصخرية الأفقية ، وهي التى نطلق عليها اسم أشكال (ظاهرات) الشواهد الصحراوية Zeugen ، وهو مصطلح ألمانى يُطلق على مجموعة التلال التى تشير إلى مستوى سطح الأرض القديم قبل بداية تأثير عوامل التعرية ، وتضم هذه المجموعة من الأشكال : الموائد الصحراوية والقور والتلال المزدوجة "النهود" والأعمدة الصحراوية والتلال المنفردة " الأعلام" أو التلال المتخلفة وغيرها ... إلا أنها تشترك جميعاً فى عدة خصائص هى (شكل ٢-١) :

١- إستواء سطوحها وتساوى مناسيبها .

٢- تغطيها قلنسوة أو قشرة صلبة تعمل على حمايتها من عوامل النحت والإزالة .

٣- ترتبط بالطبقات الصخرية الأفقية .

٤- ينتهى مصير هذه التلال بالإزالة والاكتساح وتشكيل السهل التحاتى .

(أ) الموائد الصحراوية Meza-Mesa :

المائدة الصحراوية أو " الميزا" مصطلح اشتق من هضبة الميزيتا الأسبانية ، ثم انتشر بالجنوب الغربي للولايات المتحدة الأمريكية ، وهو يُطلق على بعض الهضيبات أو التلال ذات الطباقية الأفقية المتوجه بتكوينات أكثر صلابة تتألف عادة من السليكات أو اللاتريت أو القشرة الجيرية المتصلبة بالخاصية الشعرية ، ويعمل هذا الغطاء الصلب على حماية جسم التل من الإزالة بعوامل التعرية . وكان يعتقد قديماً أن هذه الظاهرة وغيرها من أشكال الشواهد الصحراوية تنشأ نتيجة برى حضيض الصخور بالرياح ، لكن يرجح الآن تأثير التجويه الكيميائية عند إلتقاء قواعد هذه التلال بسطح الأرض المشبع بالمياه ، وتتميز أسطح هذه الموائد بالإستواء التام ، بينما يشتد إنحدار حوافها بسبب تأثرها بالتقويض الجانبي بفعل المياه . ويُطلق بدو الصحراء على الهضيبات الشاهدة تعبير " قور " ومفردها " قارة " مثل قارة " أم الصغير " على الهامش الشمالى لمنخفض القطارة، والتى استغلها السكان المحليون فى بناء قرية على سطحها طلباً للأمن والحماية.

(ب) القواعد الصخرية " قواعد التماثيل " Pedestal :

عبارة عن هضيبات صغيرة تنشأ عن نشاط عمليات النحت فى الكتل الصخرية ذات الطباقية الأفقية ، وهى تشبه الموائد الصحراوية ولكنها تتميز عنها بعدم وجود تقويض جانبى عند أسافلها ، ولذا تبدو حوافها شديدة الإنحدار ومصقولة بتأثير الاكتساح بالرياح (صورة ٢-١).



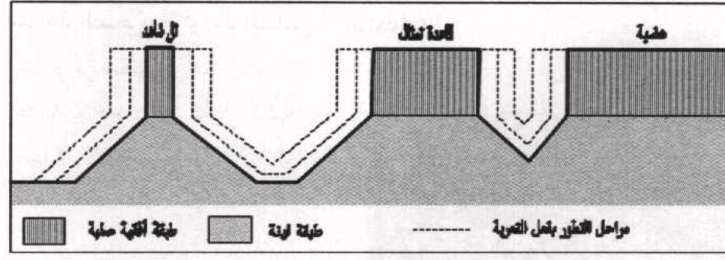
صورة (٢-١) قاعدة تمثال فى طبقات الأحجار الرملية الأفقية المتباينة الصلابة فى صحراء "النقب" جنوب فلسطين المحتلة (تصوير : Nicolaus Kuhn ٢٠٠٢ , in: Slattery, ٢٠٠٤)

(ج) التلال الشاهدة " القور " Buttes :

يـعد الجيولوجى الأمريكى Fremont أول من إقترح هذا المصطلح عام ١٨٤٥، ثم تناولته فيما بعد كتابات (Gilbert and Gulliver, ١٨٩٥) وهو يُطلق على الموائد الصحراوية حينما تتعرض سطوحها المعُلقة للإنهيار نتيجة توالى عمليات التقويض السفلى بالمياه والاكتساح بالرياح، لدرجة لا تقوى عندها القشرة الصخرية على ضغط توازنها فتنهار ، ولكن تراكم المفتتات عند أقدام هذه التلال يعمل على حمايتها من عوامل النحت والإزالة لبعض الوقت، حتى تتمكن هذه العوامل من سحقها ونقلها من جديد (شكل ٢-١، صورة ٢-٢).



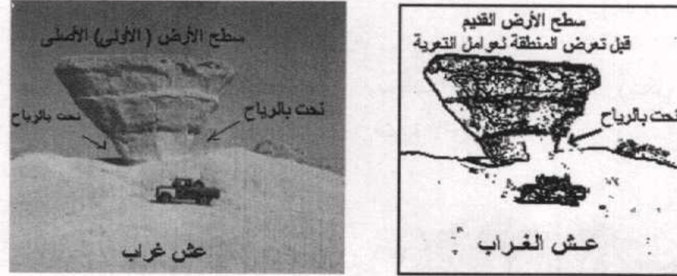
صورة (٢-٢) تل شاهد يبرز وسط السبخات الساحلية بالقرب من ساحل الخليج العربى بدولة الإمارات (تصوير المؤلف فى مارس ٢٠٠٢)



شكل (٢-١) بعض الظاهرات المتكونة عن نحت الطبقات الأفقية

(د) عش الغراب Mashroom :

أحد الأشكال الصخرية الصحراوية ذات الطباقية الأفقية ، وهو يشبه نبات عش الغراب ويمثل صخرة تشبه المائدة القائمة على عمود واحد محدود القطر بالنسبة للسطح العلوى المستوى عظيم الإتساع (شكل ٢-٢) .



شكل (٢-٢) عش غراب متكون فى طبقات الحجر الرملى الأفقية

(هــ) الأعمدة الصحراوية Desert Pillars and Pyramids :

أعمدة صخرية تنتهى إلى أعلى بكتلة جلمودية نتيجة وجود بقايا طبقة أفقية تعرضت للنحت ، وقد يعزى حدوث بعضها إلى البريشيا البركانية أو الطفل الجلمودى أو الطفل الجليدى، وكثيراً ما تتعرض الشواهد الصحراوية Buttes لعمليات التقويض الجانبى بالتجوية الكيميائية واكتساح المفتتات بالرياح ، فتنهار سفوحها وتتحول إلى أعمدة قائمة الشكل ،

تتوجها قلنسوات رقيقة السمك ولكنها أكثر صلابة من الأعناق الهشة التى تحملها ، وسرعان ما تتآكل هى الأخرى ، وتنهار الأعمدة وتزال مكوناتها بالاكتساح كمرحلة أخيرة من مراحل تشكيل السهل التحاتى ، وتنتشر الأعمدة الصحراوية فى أجزاء متعددة من سطح الأرض ، فتتمثل فى إقليم الأراضى الوعرة **Badlands** بولاية "داكوتا الجنوبية" .

وهناك اصطلاح فرنسى آخر يُطلق على هذه الأعمدة هو أعمدة الدموازيل **Domoiselle** وبالغرب الأمريكى تعبير **Hoodoos** ، كما تتخذ هذه الأعمدة الشكل الهرمى **Pyramids** بولاية "أوتاه" الأمريكية (صور من ٢-٣ ، إلى ٢-٥).



صورة (٢-٣) أهرامات صخرية فى منطقة "واليز Wallis" السويسرية
(Frans Kwaad,2002, in Slattery,2004)



صورة (٢-٤) أحد أعمدة الدموازيل
(Richard Kesel,2002, in Slattery,2004)



صورة (٢-٥) أعمدة صخرية فى منطقة "دروف تيرول **Drof Tirol**" بجبال الألب الإيطالية شمال مدينة "مورانو **Morano**" بحوالى ٥ كم (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٤)

(و) التلال الجزيرية المنفردة Inselbergs :

عبارة عن تلال تبرز كالجزر وسط السهول الصحراوية ، وهى تقابل اصطلاح Monadnock بالأقاليم الرطبة ، وتعبير Mogate بالمناطق الكارستية ، وإذا وصلت هذه التلال إلى مرحلة متقدمة من مراحل دورتها التحاتية يُطلق عليها فى هذه الحالة تعبير Hum أما فى مرتفعات الأبلاش فيُطلق على هذه التلال المنفردة اسم "أوناكا" بينما يُطلق عليها فى جنوب إفريقيا تلال التافلكوب .

وتنشأ هذه التلال كظاهرات متبقية Reseidual Features عن نشاط التعرية خلال أعصر رطبة وجافة متعاقبة خلال فترات زمنية سابقة ، حيث كانت تسود التجوية الكيميائية خلال الفترات الرطبة وتنشط خلالها عوامل النحت بالمياه ، ما تلبث أن تكتسحها الرياح إبان مراحل الجفاف اللاحقة بها .

وتتخذ التلال المنفردة عدة أشكال فقد تبدو مخروطية الشكل مدببة القمة ، أو مستوية السطح ، وكثيراً ما تتخذ سطوحها المظهر القبابى المقوس ، وهى عموماً تتشكل نتيجة التقطيع المستمر للكتل الهضبية ، ومن أشهر التلال الجزيرية فى العالم تلك المنتشرة بالإقليم الشمالى من أستراليا ، حيث ترتفع ثلاثة تلال من الكوارتزيت بأكثر من ٣٠٠ متر عن السهول المحيطة بها .

(ز) التلال المزدوجة القمة (النهود الصحراوية) Desert Breasts :

عبارة عن تلال مزدوجة القمة تنشأ نتيجة وجود عامل ضعف جيولوجى يسهم فى زيادة معدلات النحت عبر نطاق الضعف ، فيعمل على تقسيم الكتلة الصخرية إلى قسمين ، يمثل كل قسم منهما إحدى القمم ، وقد يكون عامل الضعف الجيولوجى أحد نظم الفواصل ، مما يسمح بتوغل المؤثرات الجوية من تفاوت حرارى ومياه داخل الصخر، فيزيد من توسيعه وإنفصاله ، وقد يكون عامل الضعف عبارة عن نطاق من الصخور اللينة ، فيسهل إزالتها بعوامل التعرية .

(ح) التطور الجيومورفولوجى لأشكال الشواهد الصحراوية

Desert Witnesses-Zeugen

تتميز أشكال الشواهد الصحراوية بالتطور من مظهر لآخر ، تبعاً لتأثير عوامل التعرية عليها ، ويتباين معدل تطورها من شكل لآخر ، بسبب إختلاف درجة الصلابة الصخرية لمكوناتها ومدى تأثرها بأنظمة الفواصل ، وكذلك مدى توافر المياه والرطوبة الجوية ، واقتراب مستوى الماء الباطنى ، إلى جانب شدة الرياح بالإقليم وظروفه المناخية الأخرى .

فقد تنهار الأجزاء العلوية للموائد الصحراوية وأعشاش الغراب ، فتبدو كتلال شاهدة ، وسرعان ما تتحول إلى أعمدة بارزة وسط السهول الصحراوية ، مصيرها هى الأخرى النحت والإكتساح .

ثانياً : أشكال الطبقات الصخرية المائلة :

(أ) **الكويستا Cuseta-Questa** :

تعد الكويستا من أهم الظاهرات الجيومورفولوجية التى تنشأ نتيجة التباين فى التركيب الصخرى ونظام بنائه وهى ليست قاصرة على المناطق الجافة ولكنها تنتشر فى جميع النطاقات المناخية بالكرة الأرضية .

ويتألف الشكل العام للكويستا من حافة ذات إنحدارين متضادين ، الأول شديد عكس اتجاه ميل الطبقات ويعرف باسم الحافة Escarpment ، ويمثل الآخر سطح الكويستا ويميل ببطء شديد مع اتجاه ميل الطبقات Dip، ويُطلق عليه اسم إنحدار ميل الطبقات أو إنحدار ظهر الكويستا Dip-Slops ويتراوح إنحداره بين نصف الدرجة وحوالى الخمس درجات ، ويتشكل التتابع الطبقى للكويستا عادة من طبقات رسوبية مائلة متباينة الصلابة ، تعرضت لعوامل التعرية المختلفة مكونة حافة الكويستا (حسن أبو العينين ، ١٩٩٥) .

(ب) **أظهر الميمون Hogbacks-Razorbacks** :

عبارة عن حافات صخرية شديدة الإنحدار تتبع ميل الطبقات (أكثر من ٥٠ درجة) ، أما الحافات التى يتراوح ميل طبقاتها بين (٢٠-٥٠ درجة) فيُطلق عليها مصطلح منحدر صخرى (منحدر الميل) Face Slope-Scarp Slope، أما الحافات الهينة الإنحدار التى يقل ميل طباقاتها عن ذلك فيُطلق عليها تعبير كويستا **Cuesta** . وتتميز أظهر الميمون عن الحافات الرأسية Homoclinal Ridges فى أن إنحدارها يتبع ميل الطبقات ، أماالثانية فإن إنحدارها عكس ميل الطبقات Anti-Dip Slope، وتتشكل حافات أظهر الميمون نتيجة تتابع الطبقات المائلة الصلبة والضعيفة ، وتباين تأثير عوامل التعرية عليها . وهناك عدة أنماط من هذه الحافات هى (شكل ٢-٣ ، صور من ٢-٦ إلى ٢-٩) :

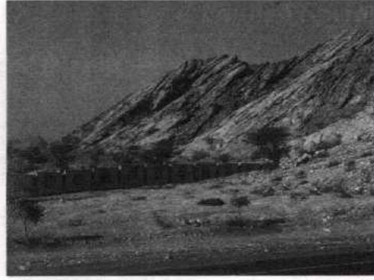
١- حافات أظهر الميمون القبابيه Domed Hoghacks مثل حافات مرتفعات هنرى Henry mt بولاية "أوتاه" الأمريكية المتكونة فى قباب اللاكوليث .

٢- حافات أظهر الميمون ذات التداخلات الناريةDomed Hoghacks (الناجمة عن تداخل القواطع النارية Dikes)

٣- حافات أظهر الميمون الإنكسارية Faulted Hogbacks(الناتجة عن الحافات الإنكسارية)

٤- حافات أظهر الميمون الالتوائية Recumbent Folded Hogbacks (الناجمة عن الحافات الالتوائية المضجعة أو النائمة Recumbent Folds)

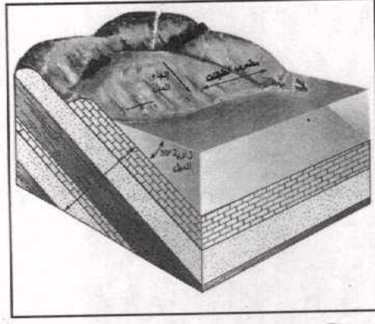
٥- حافات أظهر الميمون المرفوعة وحيدة الجانب Monoclinal Hogbacks الناجمة عن الالتواءات وحيدة الميل Monoline Folds



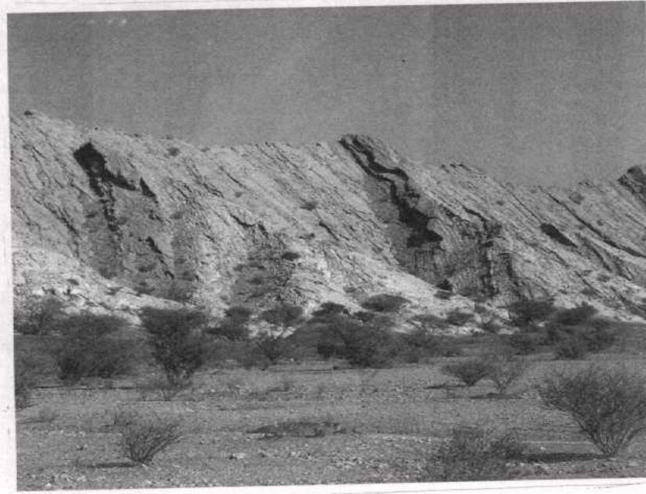
صورة (٢-٦) حافة ظهر ميمون إلتوائية النشأة فى "جبال الحجر" بسلطنة عُمان
(تصوير المؤلف فى فبراير ٢٠٠٤)

٦- حافات أظهر الميمون الجيرية Limestone Hoghacks مثل حافات إقليم الكارست فى أستريا Istria بيوغسلافيا

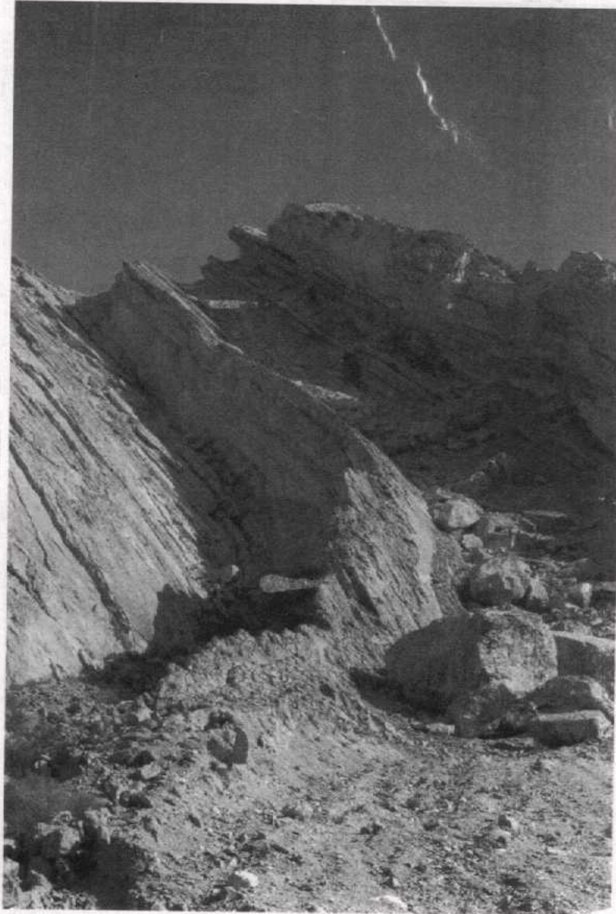
٧- حافات أظهر الميمون المدفونة تحت الارسابات الفيضية Buried Hogbacks وهى حافات مدفونة تحت الرواسب الفيضية للأودية الجافة والمراوح الفيضية والباجادا .



شكل (٢-٣) مجسم لعناصر حافة ظهر ميمون



صورة (٢-٧) تأثير التعرية بالمسيلات الجبلية على حافة ظهر ميمون إلتوائية النشأة فى "جبال الحجر" بسلطنة عُمان (تصوير المؤلف فى فبراير ٢٠٠٤)



صورة (٢-٨) مجموعة حافات شديدة الميل ناتجة عن حركة إلتوائية
(_Nicolas Waldmann 2002 , in: Slattery, 2004 : تصوير)



صورة (٢-٩) حافة ظهر ميمون إلتوائية النشأة بالقرب من "جبل حفيت" بدولة الإمارات
(تصوير المؤلف فى فبراير ٢٠٠٣)

ثالثاً : أشكال إلتوائية Folded Landforms:

تـــتعدد الأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عن تأثير عوامل التعرية على الالتواءات ، ومن المعلـــوم أن أضـــعف أجزاء الإلتواء المحدب هو خط القمم المتفق مع محور الالتواء ، الذى يتأثر بقوى الشد التى تتعرض لها الطبقات المنثنية ، ولذلك عادة ما تظهر على سطح الأرض فى مناطق الالـــتواءات مجموعات من الشقوق والفواصل الصخرية تمتد موازية لمحور الالتواء ، وهى تعطى فرصـــة مواتـــية لتوغل عوامل التفكك والتحلل الصخرى ، وخاصة التباين الحرارى والرطوبة الجويـــة ، مما يسهل من إزالة وتذرية المواد المجواه بعوامل التعرية ، وتدريجيا تتسع هذه الفواصل وينخفض سطح الأرض ، ومع استمرار هذه العملية لفترات زمنية طويلة ينخفض سطح الأرض عـــلى طول محور الإلتواء عن المناطق المتاخمة له ، وهو ما يطلق عليه اسم ظاهرة **الانقلاب أو الإنعكاس التضاريسى** Inverted Relief.

كما تتأثر القباب الصخرية الإلتوائية Anticlinal Domes – Folded Domes النشأة بعمليات النحت والإزالة عند نقطة القمة ، بسبب تأثرها بقوى الشد التى تتعرض لها الطبقات المنثنية ، ولذلك يسهل تجويتها ميكانيكياً وكيميائياً ، فينخفض مستواها وتتكون مجموعات من نظم التصريف المركزى التى تتجه مجاريها نحو مركز القبة المنخفضة .

ونتيجة لتأثر المناطق الإلتوائية بعوامل التعرية فى النطاقين السابقين وهما تخفيض محاور الالتواءات المحدبة ، وتأثر قمم القباب الإلتوائية بعوامل التعرية تتكون مجموعة من الأشكال الجيومورفولوجية يمكن إيجازها فى النقاط التالية (Gerrard, 1986) :

(أ) الحافات الصخرية الجرفية شبه الرأسية Homoclinal cliffs التى تتكون نتيجة تأثر الطبقات الداخلية من جناحى الإلتواء بعوامل التعرية .

(ب) حافات أظهر الميمون Hogbacks المتكونة على جناحى الإلتواء .

(ج) مجموعات الكويستات Cuestas المرتبطة بتأثير عوامل التعرية على الإلتواءات الوحيدة الجانب التى تقل زاوية طيل طبقاتها عن عشر درجات .

(د) الرؤوس البحرية الناتجة عن بروز الإلتواءات الوحيد الجانب Monoclinal Folds على خطوط السواحل مثل مجموعة الرؤوس البحرية على سلحل البحر المتوسط فيما بين الإسكندرية والسلوم.

(هـ) التصريف المائى المركزى المرتبط بالقباب الالتوائية المتأثرة بعوامل التعرية

(و) المجارى المائية الرئيسية التى تتكون على طول محاور الإلتواءات المحدبة Anticlinal Streams التى تتبع مضارب الطبقات Strikes .

(ز) المجارى العكسية Anti-Dip Streams المتكونة على الحافات الشديدة الميل .

(ح) الخوانق النهرية التى تتكون نتيجة إختراق المجارى المائية للحافات الشدية الميل.

رابعاً : أشكال إنكسارية Faulted Landforms:

هـــناك العديد من الأشكال الأرضية التى تنشأ عن حركات التصدع الأرضى ، التى تحدث عـــلى طول مناطق الضعف الجيولوجى ، فعند حدوث الحركة الإنكسارية قد ترتفع أجزاء من طـــبقات القشـــرة الأرضـــية وتنخفض أجزاء أخرى ، وتنشأ نتيجة ذلك مجموعة الظاهرات الجيومورفولوجية الآتية:

(أ) الحافات الإنكسارية (الصدعية) Fault Scarps:

تتكون الحافات الإنكسارية (الصدعية) Fault Scarps نتيجة قوى الشد والضغط التى تتعرض لهـــا الطبقات الصخرية الصلبة ، فلا تستجيب لهذه الإجهادات فتنكسر ، و يمكن تمييزها سواء أثـــناء الدراســـة الميدانية أو بتحليل الخرائط الطبوغرافية أو المرئيات الفضائية أو الصور الجوية ، حيث تختص بالسمات الآتية (صورة ٢-١٠):

١- إمتداد الحافات الصخرية على شكل خط مستقيم ، ويمكن ملاحظتها إما فى الميدان أو على الخرائط الكنتورية أو الصور الجوية والمرئيات الفضائية.

٢- شدة إنحدار الحافة الجرفية واستوائها وصقلها وتحزز واجهتها بعض الثلوم والخدوش الطولية الناجمة عن احتكاك الطبقات أثناء حدوث الإنكسار.

٣- عـــدم التناســـق بين مدى صلابة التركيب الصخرى ومظهر سطح الأرض ، فقد تتكون الحافة الصخرية المرفوعة من صخور ضعيفة لاتتناسب مع ارتفاعها الشاهق.

٤- إذا كانـــت الحافة الصدعية حديثة النشأة ينتشر على طول خط الإنكسار كميات متناثرة من شظايا الصخور الحادة الأطراف التى يطلق عليها اسم البريشيا الإنكسارية.

٥- تـــتقطع الحافـــة الإنكسارية بمجموعات من الأودية المُعلقة يطلق عليها اسم الأودية الكأسية.

٦- إنتشـــار مخروطات الهشيم على الجانب الهابط من الحافة الإنكسارية، حيث تتجمع الرواسب أسفل الأودية المعلقة.

٧- يشـــير توالى حدوث الزلازل فى منطقة الحافة يدل على أنها مازالت نشطة تكتونياً وحافتها الإنكسارية حديثة النشأة.



صورة (٢-١٠) حافة صدعية على ساحل منطقة رأس مسندم فى سلطنة عمان
(تصوير المؤلف فى فبراير ٢٠٠٣)

(ب) **الأودية الإنكسارية Faulted Vallies**:

يرتـــبط هذا النوع من الأودية بخطوط الإنكسار بأنواعها المختلفة ، وبصفة خاصة الإنكسار الرأســـى البســـيطNormal Fault ، أو الإنكســـار العكسىReverse Fault، أو الغور الإنكسارى Graben ، ويمكن تميز عدد من الظاهرات المرتبطة بها :

١- أودية تتبع خطوط الإنكسار العادى البسيط Faulted Vallies:

يمتد هذا النوع من المجارى المائية فى حالتين هما :

(أ) موازياً للحافة الإنكسارية مباشرة أى يعتبر ضمن أودية المضارب الـــنهرية، وهو يتميز بعدم تماثل إنحدارات جانبى المجرى ، حيث يشتد إنحدار الجانب المتفق مع الحافة الإنكسارية ، بينما يقل إنحدار الجانب

الآخـــر ، ويـــتقطع الجانب الإنكسارى بأعداد من المجارى القصيرة الشديدة الإنحدار السريعة الجريان ، بينما تتصل بالجانب الآخر روافد طويلة هينة الإنحدار بطيئة الجريان .

(ب) قـــد يمتد المجرى المائى بصورة عمودية على إتجاه الحافة الإنكسارية ، ويظهر على المجرى فى هذه الحالة نقطة تجديد تركيبية[1] Strucural Knick Points ، وإذا تقطعـــت الحافة الإنكسارية بعدد من المجارى المتوازية يظهر علـــيها مجموعـــة من نقاط تجديد الشباب يطلق عليها اسم خط الشلالات الإنكسارية Faulted Waterfall Line.

٢– منعطفات إنكسارية النشأة Faulted Meanders:

إذا تعرضت منطقة الحوض النهرى لنظم إنكسارية متعامدة أى تصنع زوايا قائمة بـــين مجاريها فيبدو نظام التصريف متعامداً ، وتظهر بعض أجزاء المجارى المائية على شـــكل مـــنعطفات قائمـــة الشكل ، وسبق أن درس المؤلف مجموعة من المنعطفات الإنكسارية فى حوض وادى قصيب (المؤلف ، ١٩٩٧) الذى يلقى بحمولته المائية فى خليج العقبة بجنوب سيناء.

[1] راجع أنواع نقاط تجديد الشباب ضمن موضوع النحت النهرى فى الفصل الثالث من هذا الكتاب

٣- أودية الأغوار الصدعية Graben Vallies:



صورة (٢-١١) مرئية فضائية للبحر الميت و نهر الأردن التي يتفق إتجاههما مع إمتداد الأخدود الإفريقي العظيم

وهـــي عبارة عن مجارى مائية رئيسية يـــتفق إمـــتدادها مع مضارب الطبقات ، وتتـــبع الأجـــزاء الوســـطى من الإنكسار الاخـــدودى التي هبطت لأسفل وتطوقها حـــافتي الجانبين المرفوعين لأعلى ، وتتميز بإتســـاع مجاريها ، وعادة ما تلقى بالمجرى الرئيســـى مجموعـــات مـــن المجارى التالية (مجارى تتبع إتجاه ميل الطبقات) أو مجارى عكســـية ، تتمـــيز بقصـــر أطوالها وشدة إنحدارها وسرعة جريانها (صورة ٢-١١).

٤- الأودية المناضلة Antecedent Vallies:

يطلق هذا المصطلح على الأودية التي تمكنت من المحافظة على إتجاهها العام على الرغم من تعرضها لحركات رفع تكتونية ، وقد تتكون الأودية المناضلة على الجوانب المرفوعة من المناطق الإنكسارية [١].

---

[١] راجع موضوع النهر المناضل بالفصل الثالث من هذا الكتاب .

٥- نقاط تجديد الشباب الإنكسارية النشأة Faulted Knick Points:

هناك العديد من أنواع نقاط تجديد الشباب من بينها النقاط التركيبية التي تنشأ عن التراكيب البنائية ومن بينها الإنكسارات [١] .

(ج) البحيرات الإنكسارية Faulted Lakes:

يمكـــن تميـــيز البحيرات الإنكسارية النشأة بشكلها الطولي ، شديدة العمق ، وترتبط عادة بـــنظم التصريف المتعامد ، وتظهر على الصور الجوية والمرئيات الفضائية والخرائط الطبوغرافية خطية السواحل ، قليلة التعرج .

(د) هضاب الضهور الصدعية Horst Plateaus :

يرتبط هذا النوع من الهضاب بالأجزاء الوسطى التي رفعت لأعلى وتحيط بها أجزاء هبطت لأســـفل ، ويمكـــن تمييزها بدراسة المكاشف والقطاعات الجيولوجية ، وترتبط بها الظاهرتين الآتيـــتين :أولاهمـــا الكتل الصدعية Fault Blocks ، وثانيهما المسيلات الجبلية Gullies السريعة الجريان التي تقطع حواف الهضبة .

(هـ) الينابيع الإنكسارية Faulted Springs :

تنشأ الينابيع الإنكسارية عند إنكشاف الطبقة الحاملة للمياه على طول خط إنكسارى مما يساعد على إنبثاق الينبوع بصورة تلقائية .

---

[١] راجع موضوع نقاط تجديد الشباب التركيبية بالفصل الثالث من هذا الكتاب .

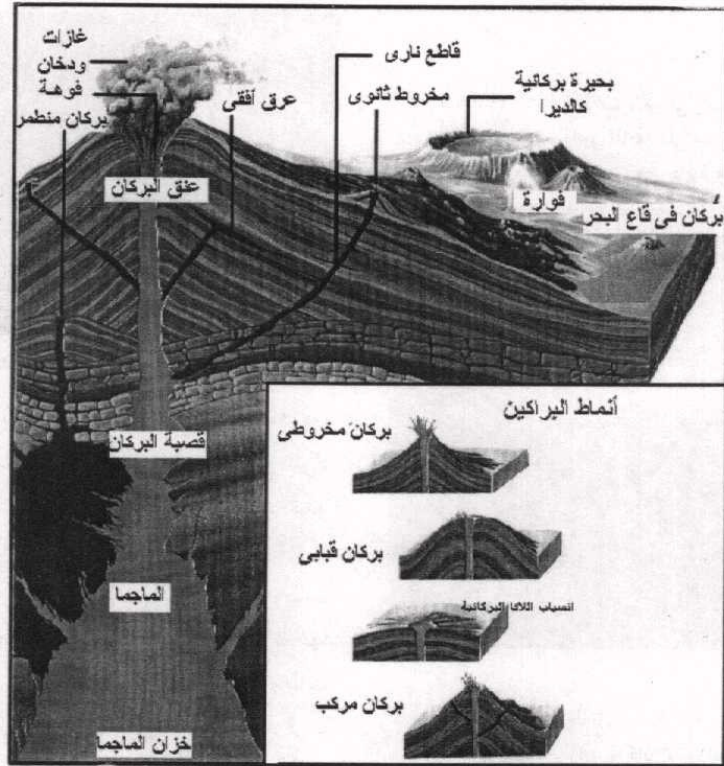
خامساً : أشكال بركانية Volcanic Landforms:

تسهم الثورانات البركانية فى تشكيل المظهر المورفولوجى لبعض مناطق سطح الأرض ، خاصة إذا كانت تلك المناطق حديثة النشأة التكتونية ، ولذا يـــغطى سطح الأرض بالمصهورات البركانية والمفتتات والرواسب ذات المصدر البركانى .

وقد تأثرت أجزاء متعددة من صحارى أمريكا الشمالية بالمخروطات البركانية الحديثة وأهمها براكين "سنسيت" فى صحراء "أريزونا" ، و"أمبوى وبيسا" فى صحراء "كاليفورنيا" ، وبعض براكين وادى "ديث – Death Valley" فى "أريزونا" . كما حدثت بعض الأنشطة البركانية فى الصحراء الشرقية المصرية وشبه جزيرة سيناء ، وأبرزها "جبل الدخان" و"جبل كاترين" ، وبعض المخروطات البركانية المنعزلة المتناثرة فى منطقة طريق القاهرة – السويس الصحراوى ، وتظهر بالمناطق المتأثرة بالأنشطة البركانية العديد من الأشكال الجيومورفولوجية (شكل ٢-٤) ، سوف نتناول أهمها فيما يلى :

(أ) البراكين المخروطية Volcanic Cones

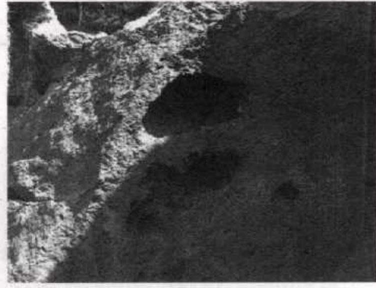
يـــتخذ هذا النوع من البراكين شكل المخروط الناقص، وقد تبدو فى بعض الأحيان على شـــكل قـــبة، ويتشكل المخروط البركانى من اللافا الفلذية الغليظة القوام ، مما يساعد على تـــراكمها رأسيا، على شكل طبقات متوازية من الحمم والرماد البركانى، وتتكون عند قمة جسم البركان فتحة على شكل الصحن أو القمع يُطلق عليها اسم الفوهة Crater، وتتصل الفوهـــة بالقصبة التى تنقل الصهير من الخزانات الجوفية نحو السطح، وتحتل الفوهة فى معظم الـــبراكين الخامدة بحيرة صغيرة ناجمة عن تجمع مياه الأمطار، وقد تظهر على جسم البركان بعـــض المخروطات الثانوية الصغيرة الحجم، يرتبط كل مخروط منها بقصبة ثانوية ، تنبثق من خـــلالها الحمم وتنساب على جسم البركان ، وتنقسم البراكين المخروطية للأشكال الآتية:



شكل (٢-٤) أنماط البراكين وبعض الأشكال المصاحبة لإنبثاق البركان

١-مخروطات السيكوريا Scoria Cones:

أى المخـــروطات الـــبركانية الـــتى تنحبس داخل حممها فجوات وفقاقيع ممتلئة بالغازات والأبخرة (صورة ٢-١٢).



صوزرة (٢-١٢) فجوات ناتجة عن إنحباس الغازات البركانية داخل الماجما على هوامش بركان "استرمبولى " بالقرب من جزيرة صقلية الإيطالية (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)

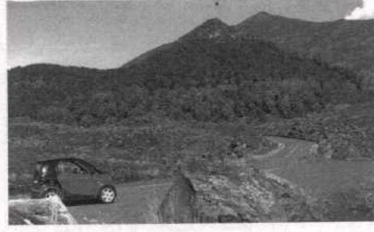
٢-مخروطات الرماد البركانى Ash Cones :

تُبنى مخروطات الرماد من قطع اللافا المقذوفة، وهذا ما يدل عليه اسمها ، وتتراكم المواد الفلذبركانية فوق بعضها ، ولذلك تبدو سفوحها شديدة الإنحدار (تتراوح بين٣٠ و ٤٠ درجة)، وعادة ما تكون مخروطات الرماد صغيرة الحجم ، إذ لا يزيد إرتفاعها عن ٣٠٠ متر، وهى غالباً ما تمثل مخروطات طفيلية أو ثانوية تتكون فوق أو قرب البراكين الكبيرة وهى غالباً ما تتواجد فى مجموعات، ويشير إنتشارها إلى وصول المنطقة إلى المراحل الأخيرة من نشاطها البركانى ، ويحدث ذلك بسبب برودة الصهير المكون لها ، أو حينما يصبح أكثر لزوجة (صورة ٢-١٣).



صورة (٢-١٣) مخروط ثانوى يتكون من الرماد البركانى على منحدرات بركان إتنا الإيطالى (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠)

٣-مخروطات بركانية متطفلة Parasitic :



عـــبارة عـــن براكين صغيرة الحجم تتكون على جوانب ومنحدرات المخروط البركانى نتيجة تسرب الحمم عبر الفواصل والشـــروخ الصـــخرية (صورة ٢-١٤) (Blume,1992: 40).

صورة (٢-١٤) بركان مخروطى ثانوى يكسوه غطاء نباتى كثيف وتكون هذا المخروط متطفلاً على منحدرات بركان "إتنا" فى جزيرة صقلية الإيطالية (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)

(ب) البراكين المدرعة (الهضبية) Shield Volcanoes :

تـــتكون الـــبراكين الهضبية أو المدرعة حينما تندفع اللافا المائعة ، ولذلك يأخذ البركان شكلاً شبه مستوى ، ويفترش مساحة كبيرة من السطح. وتتكون البراكين المدرعة أساساً من طفـــوح اللافا البازلتية التى تحتوى على نسبة قليلة فقط من المواد الفلذبركانية ، وفى العادة لا تتعدى زاوية إنحدار هذه البراكين بضع درجات على الجوانب لاتزيد على ٥°١ عند القمة، كما يتمثل ذلك فى براكين جزر "هاواى" وخاصة بركان "مونالوا Mauna Loa " الذى يعد أكبر بركان هضبى على سطح الأرض (هو واحد من خمسة براكين تشكل مجتمعة جزيرة هـــاواى)، وتســـتقر قاعدة هذا البركان فوق قاع المحيط على عمق ٥٠٠٠ متر تحت سطح الـــبحر، ويصـــل إرتفاعـــه إلى ٤١٧٠ متراً فوق سطح الماء ، وقد تطلب بناء هذه الكتلة الضخمة من طبقات الحمم البركانية حوالى المليون سنة ، خلال عدة دورات من الفورانات المتكررة ، وقد بنيت الكثير من الهياكل البركانية الأخرى بنفس الطريقة على أعماق المحيط ، ومن بينها جزيرة "ميدواى" وجزر "الجالاباجوس" (المؤلف ، ٢٠٠٤) .

ويـــتكون البركان المدرع من فوران متكرر لطفوح رقيقة متعاقبة من البازلت السائل ، وعــــندما تتراكم هذه الطفوح تصبح تركيباً بركانياً يحدث فوران على الجوانب بالإضافة إلى الفورانات المندفعة من القمة أو الفوهة الرئيسية.

(ج) القباب البركانية Ratholith – Lacolithes :

تتكون القباب البركانية Volcanic Domes من برودة وتصلب الحمم الغليظة القوام Viscous Lava تحت سطح الأرض ،ثم إنكشافها بعد إزالة الطبقات التى تغطيها بواسطة عوامل التعرية ، وقد تتعرض القباب البركانية هى الأخرى لفعل التعرية النشطة على الرغم من صلابتها . وقد تبدو القباب بصورة منفردة أو تتجمع على شكل مجموعات متقاربة متفاوتة الأحجام .

وتتكون القباب من الصخور النارية عادة ، وهى تنبثق إما بالقرب من سطح الأرض ، ويُطلق عليها فى هذه الحالة اسم الصخور المتداخلة Intrusive Rocks أو تنبثق هذه المصهورات من باطن الأرض وتظهر على السطح فتسمى فى هذه الحالة بالصخور السطحية Extrustive Rocks ، ويرجع ظهور هذه الكتل على شكل قبابى بين الطبقات الصخرية إلى إندفاع المصهورات البركانية إلى أعلى بتأثير الضغط والحرارة العالية ، وانصهار الصخور التى تمكنت من إزاحتها من طريقها ، حيث تظهر عليها بعض آثار التحول الصخرى الحرارى ، وتتخذ هذه القباب عدة أشكال وفقاً لتباين أسلوب تكوينها ، وأهم هذه الأشكال ما يلى :

١ – الكتل القبابية العميقة Batholiths:

تتكون من المصهورات البركانية المندفعة من باطن الأرض فتعمل على تشكيل قباب شاهقة الإرتفاع ، وتتعرض أعالى هذه القباب لفعل النحت بعوامل التعرية المختلفة.

٢- الكتل الهلالية المحدبة (اللاكوليث) Lacolith :

تتكون هذه القباب نتيجة إندفاع المصهورات البركانية بضغط شديد على طبقات الصخور التي تعلوها وتجعلها في حالة تحدب ، أما القاعدة فتظل أفقية الشكل .

٣- الكتل الهلالية المقعرة (الفاكوليث) Phacolith :

تعرف باسم الكتل الهلالية حيث تندفع المصهورات البركانية في قمم وقيعان الألتواءات (الطيات) مكونة اشكالاً هلالية المظهر قد تنكشف نتيجة إزاحة الطبقات التي تعلوها بفعل عوامل التعرية .

٤- اللابوليث Lapolith :

يُطلق على هذه التداخلات اسم الكتل الوعائية ، لأنها تشبه الوعاء في طريقة تشكيلها ، حيث يعمل الثقل الهائل للمصهورات البركانية على هبوط القاعدة الصخرية التي ترتكز عليها هذه المصهورات وتبدو كالوعاء المقعر الشكل ، وتظهر على شكل حلقات من اللافا تمتد بينها طبقات من الصخور الأخرى (صورة ٢-١٥) .كما تُصنف القباب البركانية حسب أشكالها للأنواع التالية (Francis,1993.156):

١- القباب المرفوعة
Upheaved Domes

٢- القباب المشابهة لبركان بيليه
Peléean Domes

٣- قباب الحمم المنخفضة المنسوب
Low Lava Domes

٤- كوليه Coulée



صورة (٢-١٥) قبة بركانية يبلغ قطرها حوالى ١٥ كم تأثر سطحها بفعل عوامل التعرية في محمية "كتامى Katami" في ولاية "آلاسكا" الأمريكية

(د) البراكين المركبة Composed Volcanoes:

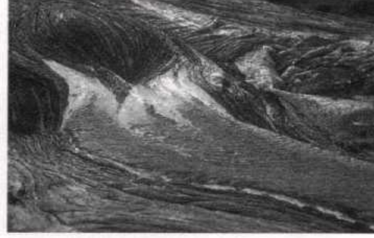
تعد البراكين المركبة من أجمل أشكال البراكين على وجه الأرض ، ويُعزى تشكيلها إلى إختلاف درجة سيولة اللافا الناتج عن تباين تركيبها المعدني ، ولذلك يتكون البركان المركب خلال مرحلتين هما :

المــرحلة الأولى : يتشـــكل في البداية بركان هضبي مسطح يتكون من لافا قلوية ذات لزوجة منخفضة شبه مائعة ، ولذلك يغطي مساحات واسعة من سطح الأرض ، وقد يستمر البركان الهضبي في الثوران لمدة طويلة وإخراج الحمم شبه السائلة ، ويفترش مساحات كبيرة من سطح الأرض ، ثم يخمد لفترة من الزمن .

المــرحلة الثانية : يعاود البركان نشاطه من جديد ، ولكن يتغير تركيب مواد الصهارة تبعاً لإخــتلاف مصادرها في جوف الأرض ، مما يغير نظام الثوران ، ويبدأ البركان في قذف المواد الفلذبركانــية الغلــيظة القوام، وتتراكم هذه المواد قرب الفوهة ، مما ينتج عنها بناء مخروط من الرماد ينمو رأسياً ذو جوانب شديدة الإنحدار ، وبذلك يرتكز المخروط البركاني الحديث فوق البركان الهضبي القديم ، مما يعكس طبيعة تركيبه المعدني المزدوج المتعاقب من الحمم القلوية شبه السائلة يعقبها مرحلة إنبثاق المواد الفلذبركانية الغليظة القوام (المؤلف ، ٢٠٠٤).

(هــ) أشكال ناتجة عن إنسياب الحمم (اللافا) البركانية Lava Flow:

يتشكل إنسياب اللافا من إنبثاق المصهورات البركانية السائلة عبر خطوط الضعف الجيولوجي حتى تظهر على سطح الأرض ، حيث تبرد بسرعة هائلة ولذا فهي عديمة البللورات، وقد ساعدت قلة لزوجة الإنسيابات السطحية على سيلانها كالماء ، وافتراشها مساحات شاسعة من سطح الأرض (صورة ٢-١٦)، تصل في بعض الأحيان لأكثر من ٢٠,٠٠٠ كم مربع جنوب شرق "واشنطن" بالولايات المتحدة الأمريكية ، وبسمك يتعدى ٣,٠٠٠ متر .



صورة (٢-١٦) حمم بازلتية مائعة تتحرك بسرعة على سطح الأرض من نوع Pahoehoe Flow متخذة شكل الجدائل أو الحبال على هوامش بركان "Kilauea " فى جزر "هاواى"

ومن أوضح الأمثلة للإنسيابات اللافية فى وطننا العربى المنطقة البركانية الممتدة من غرب بحيرة "طبريا" فى فلسطين إلى جبل "الدروز" و"حوران" فى سوريا إلى وادى "السرحان" فى السعودية . وهناك العديد من الأشكال المرتبطة بإنسيابات الحمم من أهمها الأشكال الآتية :

١- فرشات الحمم (الحرات – الحرار) Lava Sheets :

مفردها حرّة وهى أرض مغطاه بالبازلت الأسود الناشئ من تصلب الصهير المنبثق من باطن الأرض ، خلال مناطق الضعف فى القشرة الأرضية ومن فوهات البراكين ، وبعد تصلب الصهير تظهر عليه الشقوق ، نتيجة عظم المدى الحراري اليومى والفصلى فى الصحراء ، مما يؤدى إلى ظهور الحرة فى شكل صخور منثورة فوق سطح الأرض أو متراكمة فوق بعضها تبعاً للنشاط البركانى ونظامه وكذلك مدى البعد عن مركز الشقوق الصخرية التى انبثقت منها اللافا المنصهرة (عبد الله الغنيم ، ١٩٨٤، ص ٣٤) .

وتحظى شبه الجزيرة العربية بالنصيب الأعظم من الحرات البازلتية وخاصة بالنطاق المحصور بين قواعد جبال لبنان الشرقية والطرف الشمالى لصحراء "النفود"، فى نطاق يمتد نحو ٤٥٠ كم ، ويبلغ متوسط عرض هذا النطاق السطحى قرابة المائة كيلومتر (صورة ٢-١٧).



صورة (٢-١٧) فرشات من الحصى البركانى تغطى سطح الأرض بالقرب من بركان "فيزوف" شرقى مدينة "نابولى"الإيطالية
(تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)

ويبدو المظهر الطبوغرافى للأسطح الطفحية للحرات ، كهضاب شبه مستوية بوجه عام ، إلا أنها مسننة السطح ، تقطعها أحياناً بعض الأودية المنطبعة التى تعمل على إنفصالها إلى مجموعة هضيبات كاشفه الصخور المتراكبة عليها .

وتـُعد الحرات من الأشكال الأرضية النادرة فى الصحراء الكبرى الإفريقية ، حيث تكاد تقتصر أكبر نماذجها فى الصحارى الليبية على الجبل الأسود والهروج الأسود، ويبرز هذان الجبلين كإثنين من الأعلام البركانية المخروطية الشكل التى تغطى طفوح البازلت منحدارتها .

٢- الأنفاق والأنابيب البركانية Volcanic Tunnels and Tubes:

تعتـبر الأنفاق والأنابيب البركانية من الظاهرات الشائعة التى تتشكل من إنسياب اللافا البازلتـية الشديدة الميوعة والحرارة ، وتتراوح أقطار هذا الأنابيب من المتر الواحد أو أقل ، وقد تصل لما يشبه أنفاق السكك الحديدية أو مترو الأنفاق (صورتا ٢-١٨ و ٢-١٩).

وهى تتكون نتيجة وجود بعض الغازات المنحبسة داخل الحمم ، ويعتقد بأن القنوات التى تغذى معظم البراكين متصلة بمصدر للصهير قريب من سطح الأرض ، وعلى النقيض من ذلك فـإن بعض الأنابيب الغنية بمعادن الحديد و الماغنيسيوم تمتد على شكل أنابيب تصل إلى الغلاف المـائع مـن الوشاح (طبقة الأثنوسفير) على عمق ٢٠٠ كيلومتر، ولهذا فأنه يعتقد بأن المواد المكونـة لهذه الأنابيب هى عبارة عن عينات من هذه الطبقة المائعة ، و لم يطرأ عليها تغير كبير

خلال رحلة صعودها إلى سطح الأرض ، ولذلك فهذه الأنابيب تعتبر نوافذ يطل منها الإنسان علــى جــوف الأرض ، وتســهم فى الكشــف عــن التركيــب الداخــلى لباطن الأرض . (Francis,1993 :149)



صورة (٢-١٨) نفق بركانى يبلغ قطره حوالى ٦ أمتار فى جزر هاواى
(تصوير : Ann Dittmer 2002 , in: Slattery, 2004)



صورة (٢-١٩) نفقان بركانيان متقاطعان يبلغ قطرهما حوالى الأمتار الأربعة
(تصوير : Ann Dittmer 2002 , in: Slattery, 2004)

وتصل أحياناً الأنابيب البركانية قرب السطح ولكن مرحلة الفوران قد تتوقف قبل خروج اللافــا فوقه ، وغالباً ما يحتوى الجزء العلوى من هذه الأنابيب على خليط من قطع اللافا ومن القطع التى مزقتها الغازات الهاربة من جدران الفتحات البركانية ومن التركيبات المعروفة من هذا النوع : الأنابيب الحاملة للماس بجنوب أفريقيا ، فهناك تقدر الأعماق التى نشأت فيها الصخور

المكونـــة لهـــذه الأنابيب بحوالى ٢٠٠ كيلومتر، حيث يكون الضغط كافياً لتكون الماس وبعض المعادن التى عادة ما تتكون تحت ظروف الضغط العالى ، وفى هذه الحالات ينشأ الماس على هيئة بلـــورات فى الأعمـــاق ، ثم يـــتم نقلها إلى أعلى عن طريق الجزء السائل من الصهير. ويهتم المختصـــون فى علم البركنة Volcanology بدراسة الأنفاق والأنابيب البركانية ، لأنها توفر لهـــم معلومات مهمة عن أقصى إمتداد لإنسياب الحمم ، وقوة إندفاعها ، وتساعد على تقدير سرعة تحركها ، ودراسة أسلوب تكوينها.

٣- الكهوف البركانية Volcanic Caves:

تتشـــكل الكهوف البركانية من انحباس الغازات والأبخرة داخل صخور الماجما ، متخذة شـــكل حجرات أو فراغات كبيرة الحجم ، أو ممرات ممتدة داخل تكوينات الماجما المتصلبة ، وتـــتكون داخـــل بعض الكهوف البركانية مجموعات من الأعمدة الصاعدة والأعمدة النازلة ، مشابهة لتلك المتكونة فى كهوف الكارست الجيرية ، إلا أن هذا النوع من الأعمدة يتكون من الحمم البازلتية Basaltic Lava Stalagmites and Stalactites .

ويعـــد بركان "آبوا Apua" فى جزر "هاواى" من أفضل الأمثلة لهذه الظاهرة الفريدة ، كما أُكتشف أحد الكهوف فى نطاق بركان "كازمورا "Kazumura " فى جزر هاواى يمتد لمسافة تصل لحوالى ١٠ كم ، ومتوسط إتساعه يبلغ حوالى خمسة أمتار (صورة ٢-٢٠).



صورة (٢-٢٠) مداخل لكهوف بركانية فى جزيرة "فولكانو" الإيطالية (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)

٤- دلتاوات الحمم Lava Deltas:

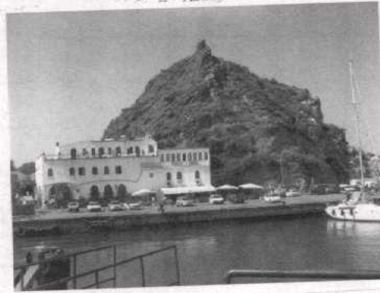
غالباً ما تظهر دلتاوات الحمم حينما تـــتدفق اللافا البازلتية المائعة القوام بالقرب مـــن خطوط سواحل البحار والبحيرات ، مكونـــة دلـــتاوات مثلثية الشكل تنحدر إنحداراً هيناً صوب خط الساحل ، وتتميز مكوناتهـــا بســـرعة برودتها وتصلبها نظراً لتأثرها بمياه المسطح البحرى الملامس لها ، وعـــندئذ تـــبدأ رحلـــة تأثـــرها بالفعل الديناميـــكى والـــتفاعل الكيميائى للنحت بـــالأمواج ، وهـــناك العديد من دلتاوات الحمم تتمثل على سواحل جزر "هاواى"، وجزيرة "تنريف Tenerife" إحدى جزر "الكنارى" (صورة ٢-٢١).



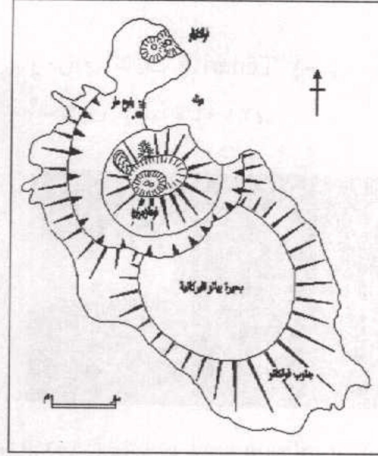
صورة (٢-٢١) صورة جوية مائلة Oplique لدلتا مثلثة الشكل مكونة من إنسياب حمم بركان " Kilauea " بجزر "هاواى" - مصدر الصورة: http://volcanoes.usgs.gov/Products/Pglossary/LavaDelta.html

٥- روابى الحمم Lava Mounds or Volcanic Hummocks :

عـــبارة عن روابى أو تلال مخروطية أو قبابـــية الشكل يتراوح إرتفاعها بين بضعة أمتار إلى أكثر من ٢٠ متر ، وهى تتكون من تعرض الحمم البركانية للإنزلاق ، أو بسبب تـــراكم مفتـــتات الحمم أسفل المنحدرات ، وهـــى تشتمل على خليط غير متجانس من هشـــيم ومكسورات الحمم المتصلبة ، وقد تنســـاب فوقهـــا الحمم السائلة فتعمل على إندماجها وتماسها ، فتبدو كأنها كتلة واحدة ضـــخمة من الحمم (شكل ٢-١، صورتا ٢- ٢٢و٢- ٢٣).



صورة (٢-٢٢) رابية من الحمم تشرف على ميناء للقوارب فى جزيرة "فولكانو Volcano" الإيطالية (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)



شكل (٢-٥) الملامح الجيومورفولوجية لجزيرة "فولكانو"



صورة (٢-٢٣) رابية ضخمة من الحمم البركانية القديمة تعرضت للإنزلاق الأرضى على تخوم جبل "سانت هلينز St. Helens" بالجزء الغربى من ولاية "واشنطن" الأمريكية *

٦- كومات الحمم "تملوس" Lava Tumulus

تعتبر كومات الحمم المتصلبة "تملوس Tumulus" من الظاهرات الشائعة فى المناطق البركانية ، وهى عبارة عن تلال بيضاوية أو قبابية الشكل ، يتراوح إرتفاعها بين متر واحد عشرة أمتار.

وتنتج عن تدافع وإنسياب الحمم البازلتية الغليظة القوام من نوع Pahoehoe فوق سطح الأرض ، مكونة أجزاء بازة من الحمم المتصلبة على شكل كومات محدودة الإرتفاع ، وهى سرعان ما تتأثر بعمليات التجوية مكونة شقوق طولية الشكل ، تُحفر على محاورها الطولية ، بالإضافة إلى أعداد من الحذوذ والثلوم الصغيرة تمتد بصورة عمودية على الشقوق الطولية بتأثير التباين الحرارى ، المدعوم بعمليات التجوية الكيميائية (صورتا ٢-٢٤و ٢-٢٥).



صورة (٢-٢٤) كومة من الحمم البركانية المتصلبة تعرضت قمتها لفعل التعرية لا يتجاوز إرتفاعها ٣٠ متر على الطريق الواصل بين "Hilina و Pali" بالقــرب من بركان "Kilaue" في جزر "هاواى" ــ تصوير: Griggs,J.D.,USGS، مصدر الصورة: www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/Thumblinks/tumulus_page.html



صورة (٢-٢٥) كومة من الحمم على هوامش أحد البراكين الثانوية المتكونة على بركان "إتنا" المخروطى بإيطاليا (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠)

٧- بحيرات الحمم Lava lakes :

عــبارة عن بحيرات مكونة من الحمم الملتهبة يتراوح قطرها بين بضعة عشرات من الأمتار وأكــثر مــن عشرة كيلومترات ، وقد يصل عمقها إلى أكثر من مائتى متر . وتتكون بحيرات الحمــم مصاحبة لتصلب الحمم السائلة المتبقية داخل فوهات البراكين الخامدة Craters ، وفى المنخفضــات الأرضــية التى تغطيها تدفقات الحمم المنسابة نحوها بتأثير الجاذبية الأرضية، وتتم عملية تصلب وتماسك بحيرات الحمم بصورة تدريجية من حوافها الخارجية نحو مراكزها ، ومن سطحها العلوى نحو أعماقها ، إلى أن تتصلب كل كمية الحمم المتجمعة داخلها التى قد تستغرق

عشرات السنين ، وعندئذ تصبح على شكل كتلة متماسة من الحمم المستويـــة السطح (صورة ٢-٢٦).



صورة (٢-٢٦) بحيرة بركانية طولية الشكل ناتجة عن إنسياب الحمم عبر قناة تخرج من فوهة بركان " Kupainanaha "- تصوير: Wolfe,E.,USGE ، مصدر الصورة : www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/Thumblinks/Lavalake_page.html

٨- الجزر المحاطة بالحمم البركانية "كيبوكا" Kipuka :

أصل مصطلح "كيبوكا Kipuka "مأخوذ عن إحدى اللغات المحلية للسكان الأصليين لجزر "هـــاواى" ، وهـــو يُطلق على الجزر الأرضية البارزة المرتفعة المنسوب المحاطة بالحمم البركانية المتدفقة من البراكين البازلتية ذات القوام شبه السائل ، وقد تتغطى هذه الجزر بنطاق من الغطاء النباتى أو تظل جرداء ، وفقاً لكميات الأمطار الساقطة على إقليمها (صورة ٢-٢٧) .



صورة (٢-٢٧) جزيرة متصلبة من الحمم القديمة ينمو عليها غطاء نباتى كثيف من الأشجار ومحاطة بحمم بازلتية حديثة شديدة الميوعة (شبه السائلة) تنساب من بركان "Pu`u `O`o-" Kupaianaha " بالقسم الشرقى من بركان " Kilauea "فى جزر "هاواى" ــ تصوير : Moore,R.,USGS ، مصدر الصورة: www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/Thumblinks/Kipuka_page.html

٩- رشات الحمم Spatter :

مفتتات من الحمم المنصهرة دقيقة الحبيبات ، تُقذف بقوة من فوهة البركان، وهى تبرد وتتصلب بسرعة عقب سقوطها وإنتشارها على منحدرات المخروط البركانى وسطح الأرض المتاخم له (صورة ٢-٢٨).



صورة (٢-٢٨) مفتتات من الحمم المتصلبة تفترش سطح الأرض بالقرب من بركان "Kilauea "فى جزر"هاواى"- تصوير : Mattox, T., USGS ، مصدر الصورة : www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/Thumblinks/spter_page.html

١٠- وسائد الحمم البازلتية Pillows lava :

كومات طولية الشكل المحدودة الإرتفاع ، تتكون من إنسياب الحمم البازلتية القاعدية شبه المائعة تحت المسطحات المائية مثل سواحل البحار أو البحيرات أوالبرك ، وعند إنسياب الحمم فى أول الأمر واختلاطها بالمياه تكون على هيئة عجينة رخوة تشبه معجون الأسنان ، ولكن مع

التبريد المستمر لسطوحها ، فإنها تتصلب تدريجياً ، وتكون قشوراً متصلبة قبابية المظهر ، ولكن تظــل حشواتها الداخلية رخوة لفترة من الوقت قبل تصلبها الكامل ، وعندئذ تشبه الوسادة فى مظهــر العــام ، ويشــير وجود هذه الظاهرة إلى إنسياب اللافا وإختلاطها بالمياه قبل عملية التصلب.

١١- السيكوريا البركانية Scoria :

السيكوريا عبارة عن حصوات من الحمم المتصلبة بسرعة فوق سطح الأرض، يــتراوح سمكهــا من سنتيمتر واحد إلى عشــرات السنتيمترات ، وتوجد داخلها بعــض الفجــوات والفراغات الناتجة عن إنحباس الغازات والأبخرة المصاحبة للإنبثاق البركانى ، ويختلف تركيب السيكوريا من بــركان لآخــر ، فقد تتكون من الحمم البازلتــية ، أو الحمم الإندسيتية ، ولذلك يتــباين لونهــا من الأسود إلى الرصاصى الداكــن ، وفقا لدرجة تركيز الحديد فى مكوناتها المعدنية (صورتا ٢-٢٩ و٢-٣٠).



صورة (٢-٢٩) كتل من السيكوريا بيضاوية يصل قطرها لحوالى ١٢ سنتيمتر تنتشر على منحدرات بركان إتنا فى جزيرة صقلية
(تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)



صورة (٢-٣٠) حصوات من السيكوريا الدقيقة الحبيبات تم جمعها من تخوم بركان "استرمبولى" بالقرب من مدينة "نابولى" الإيطالية
تصوير: Mattox,T.,USGS، مصدر الصورة :
www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/Thumblinks/scoria_ page.htm

١٢- أشجار الحمم Lava Trees و قوالب جذوع الأشجار Tree Mold:

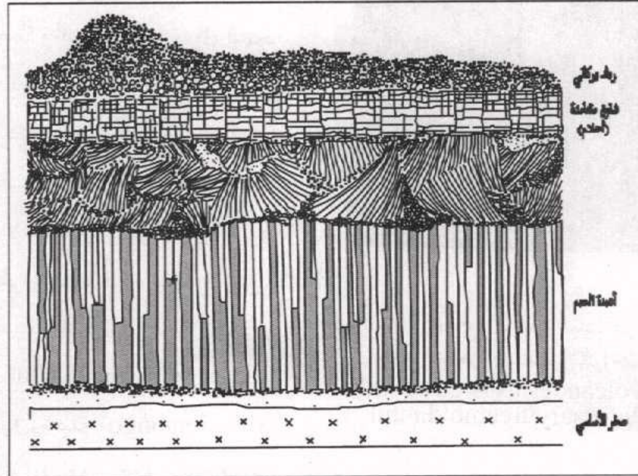


صورة (٢-٣١) حمم متوهجة عملت على إقتلاع جذع شجرة - مصدر الصورة:
http://volcanoes.usgs.gov/Products/Pglossary/treemold.html

عبارة عن حفر إسطوانية الشكل يتراوح عمقها بين ٢٠ و ٥٠ سنتيمترات، تتكون كل حفرة منها نتيجة إقتلاع جذع إحدى الأشجار بعد إنسياب الحمم الملتهبة حولها ، وبعد برودة اللافا وتصلبها يبدو سطح الأرض مزركشاً بالحفر الدائرية المتفاوتة العمق، تشير كل حفرة منها إلى إحدى الأشجار التي أحترقت بعد إنسياب الحمم حولها ، وتختلط داخلها أوراق الشجر ، وأغصان النباتات المحترقة ، منغمسة داخل الحمم المتصلبة التي تشكل جدران وأرضية هذه الحفر ، وقد تكسو الحمم المتدفقة جذوع الأشجار ، فتؤدى إلى تصلبها والمحافظة على إنتصابها فوق سطح الأرض ، وينتشر هذا الشكل الفريد من الحمم فى منطقة "Mauna Ulu " فى جزر "هاواى"، وفى منطقة "Nyiragongo" فى أفريقيا الوسطى (Francis, ١٩٩٣ : ١٣٨) (صورة ٢-٣١).

١٣- أعمدة الحمم Lava Pillars - Lava Columns :

تتكون أعمدة الحمم من تصلب اللافا البازلتية عند برودتها الفجائية ، حيث تتشقق طولياً إلى أعمـــدة رباعية أو سداسية المقطع ، يتراوح طولها بين ١٠ و٢٠ متر ، ولايتعدى سمك كل عمـــود منها أكثر من ٥٠-٦٠ سنتيمتر ، ولكنها سرعان ماتتحطم بتأثير التجوية[1] ، فتتراكم مكســـوراتها عـــلى ســـطح الأرض ، وتنتشر أعمدة اللافا فى مناطق متعددة من بينها هضبة "كلومبـــيا" وخاصـــة على جروف خانق نهر "كلومبيا" بالقرب من بلدة "Hood River" ، وعـــلى مـــنحدرات نهر "Grand Coulee" "بولاية واشنطن الأمريكية، إضافة إلى العديد من الأنهار التى تشق مجاريها الخانقية فى البازلت (Scarth,1994) (شكل ٢-٦) .



شكل (٢-٦) أعمدة من الحمم البازلتية

[1] راجع موضوع التجوية الميكانيكية فى الفصل الأول

١٤- الشعر البركانى Pele's Hair :



صورة (٢-٣٢) كمية من الشعر البركانى المفتول على سطح إنسيابات الحمم المنبثقة من بركان " Kilauea " فى جزر "هاواى"

ترتبط هذه الظاهرة الفريدة ببركان " بيليه Pele " الرابض فى جزر "هاواى" ، وهى عبارة عن أعداد هائلة من الشعيرات الدقــيقة السمك لايتعدى سمكها أكثر من نصــف ملليمتر ويتراوح طولها بين نصف المتر والمتر الكامل ، وهى تتكون من الحمم البازلتية الغليظة القوام المتصلبة ، وهى عادة مــا تحملها الرياح لعشرات الكيلومترات بعيداً عن فوهة البركان (صورة ٢-٣٢).

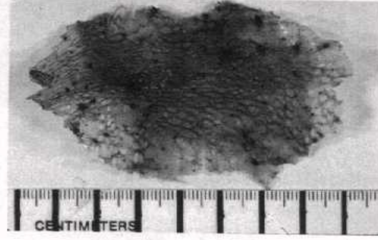
١٥- الحمم المختلطة بالحصى " لاهار" Lahar :

أصل مصطلح "لاهار" مأخوذ عن اللغة الأندونيسية ، وهو يدل على الحمم المائعة المختلطة بالحصى والرواسب والمياه ، وعادة ماينساب هذا الخليط بسرعة نحو الأراضى المنخفضة المحيطة بجسم البركان ، وهو يتكون من تدفق الحصى أو الطين المشبع بالمياه مع الحمم البركانية القاعدية المائعة القوام ، خاصة وقت ذوبان الثلج ، أو أثناء فيضــان الأنهار ، أو عند هطول السيول على مناطق الثورانات البركانية النشطة .

١٦- رقائق الحمم "ليمو" Limu- Limuo :

عــبارة عــن قشــور رقيقة بيضاوية الشكل من تتكون الحمم البازلتية التى تتصلب عند إنهمارها الفجائى من فوهات البراكين البحرية ، وتساقطها فى مياه اللمسطحات البحرية المحيطة بها ، وعندئذ تختلط أمواج البحر بالحمم الملتهبة ، فتتصاعد منها الغازات والأبخرة الكثيفة نظراً لــبرودتها الفجائية ، فتقوم الأمواج بنقلها و إعادة ترسيبها على الشواطئ فى صورة فرشات من

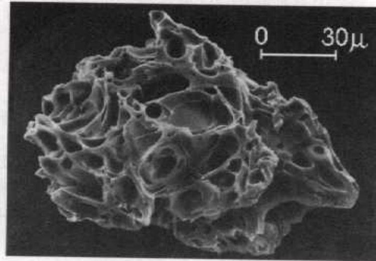
الرقائق المتصلبة ذات مظهر زجاجى تشبه قشور الأسماك ، تميل ألوانها إلى البنى المائل للخضرة أو الرمادى (صورة ٢-٣٣)



صورة (٢-٣٣) كتلة متصلبة من رقائق الحمم "ليمو " التى قذفها بركان "Kilauea " فى جزر "هاواى"

١٧- الرماد البركانى Volcanic Ash:

يـــتكون الرماد البركانى من حبيبات صخرية ومعادن يقل قطرها عن ٢ ملليمتر، ومـــن الشـــائع ألا يزيد قطر حبيباته عن ٠،٠٢٥ مـــن الملليمتر الواحد ، ولذلك فمـــن السهل حمله بالرياح ونقله لمسافات بعيدة عن مصدره البركانى ، ويتميز الرماد بصلابة حبيباته كما أنه لايذوب فى المياه ، وهو ينتج عن سحق الصخور المحيطة بالمجما المـــندفعة عبر قصبة البركان ، وتحويلها إلى حبيبات دقيقة ، وعادة ما يختلط بالغازات والأبخـــرة الـــناتجة عـــن تبخر الماء الجوفى الملامس لخزانات الماجما ، مكوناً أعمدة من السحب القائمة ترتفع من فوهة البركان نحو السماء (صورة ٢-٣٤).



صورة (٢-٣٤) منظر مكبر تحت المجهر لإحدى حبيبات الرماد ضمن مقذوفات بركان " Mount St. Helens " تظهر بها فجوات ناتجة عن إنحباس الغازات داخل الماجما

١٨- الحمم البازلتية من نوعى "باهوهو" و "آه آه" :

Pahoehehoe & AA-type lava flow :

يصـــنف ســـكان جـــزر "هـــاواى" بلغتهم المحلية أشكال الحمم البازلتية إلى نمطين هما Pahoehehoe & AA اللذين يختصا بالسمات الآتية (صور من٢-٣٥ إلى ٢-٣٧):

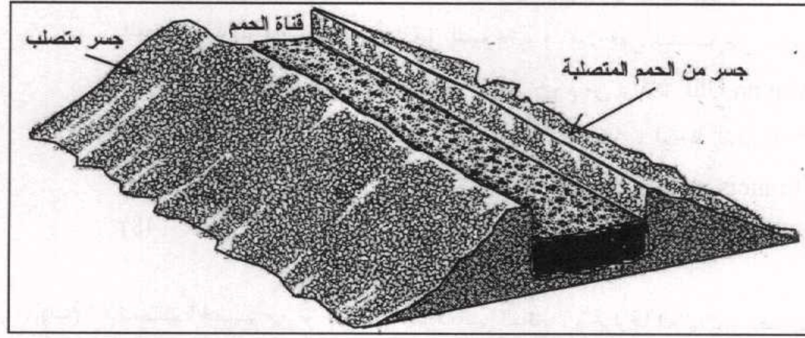
(أ) تتمـــيز الحمم من نوع "باهوهو" بلونها الداكن المائل للسواد ، وسطحها الأملس المصقول ، وقلة لزوجتها أى أنها تميل للميوعة ، ولذلك فهى تنساب على سطح الأرض بسرعة ، ففى دراسة أجريت على تدفق الحمم من بركان Mauna Ulu فى جـــزر هاواى خلال ثورانه فى عامى ١٩٦٩-١٩٧٤ ، لوحظ تدفق ٣٣٤ مليون متر مكعب من هذا النوع من الحمم البازلتية وحدها (Francis, 1993: 148) .

(ب) تتســـم الحمـــم من نوع "آه آه" بلونها البنى الفاتح ، وحرارتها العالية ، وسطحها الخشـــن ، وعظـــم سمكها الذى يصل لعدة أمتار ، وسرعة تدفقها نظراً لسيولة قوامها ، حيث سُجلت سرعة تدفقها فى بركان إتنا عام ١٩٧٥ بمعدل يتراوح بين ٥ و١٠ مـــتر مكعب فى الثانية، ولكن سرعتها تقل بالتدريج عند برودتها بسبب تعرضـــها لـــلجو ، فتتصلب قشرتها الخارجية فى أول الأمر ، بينما تظل أجزاءها الداخلية لدنة ، وتستمر فى تصلبها التدريجى إلى أن تصبح كتلاً صلبة تشبه الحبال المجدولة (Scarth, 1994:146).

١٩- قنوات الحمم Lava Channels ، وجسور الحمم Lava Levée:

ترتـــبط قـــنوات الحمم بالمصهورات البركانية شبه المائعة التى تسيل بسرعة فوق منحدرات ســـطح الأرض ، وقد تتجمع هذه القنوات فى مجرى أكثر إتساعاً مسببة أضراراً بالغة بالمناطق المأهولـــة بالسكان حول البركان ، وكثيراً ما تترنح هذه المجارى فى إمتدادها مكونة منعطفات

Meanders بســبب تــباين قــوام الحمــم المنصهرة التى تسيل فى القناة ، ودرجة تماسكها وتصــلبها، وقــد تــتكون على ضفاف هذه القنوات بعض الجسور الطبيعية المكونة من الحمم المتصلبة Natural Lava Levée ، وهى تمتد بشكل طولى موازية للقناة ، أى بصورة مشابهة للجسور الطبيعية النهرية النشأة التى تتكون بتراكم الطمى على ضفتى المجرى النهرى أثناء فترات الفيضان (شكل ٢-٧وصور من ٢-٣٨ إلى ٢-٤٠).



شكل (٢-٧) خصائص جسور الحمم الطبيعية



صورة (٢-٣٥) منعطف فى قناة ناتجة عن تدفق الحمم من بركان "Kilauea " فى جزر "هاواى" ، لاحظ ظهور زوج من الجسور الطبيعية يمتدا على ضفتى القناة يتكونا من الحمم المتصلبة- تصوير: Babb, J، مصدر الصورة:
www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/Thumblinks/Lavalevee_page.html



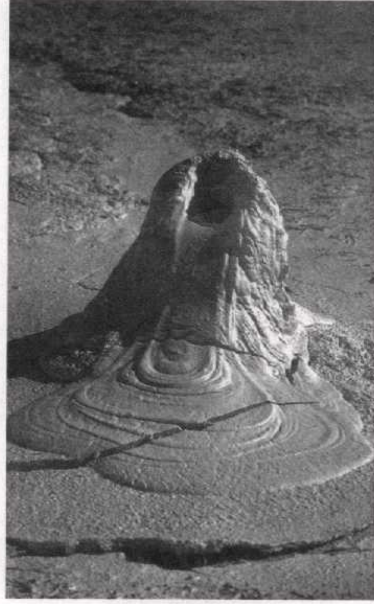
صورة (٢-٣٦) حمم بازلتية غليظة القوام متصلبة من نوع "باهوهو"
(تصوير : Bill Renwick 2002 , in: Slattery, 2004)



صورة (٢-٣٧) حمم مجدولة من نوع "آه آه" على منحدرات بركان إتنا بالقرب من مدينة "كاتانيا" بجزيرة صقلية الإيطالية (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)

(و) بعض الأشكال الأرضية المصاحبة للنشاط البركانى :

١- البراكين الطينية Mud Volcano :



صورة (٢-٣٨) بركان طينى لايتجاوز إرتفاعه ٤٠ سنتيمتر مصاحباً لنشاط الفوارات الحارة فى منطقة " Norris " من المنتزه الوطنى Yellowstone National Park بولاية "وايتمنج Wyoming الأمريكية"

يتكون هذا النوع من البراكين من تراكم الطين والطمى المنبثق من جوف الأرض مصاحباً لمياه الينابيع الحارة ، التى تتشكل نتيجة تقارب الطبقات الحاملة للمياه من خزانات الماجما ، وهى تتميز بإنخفاض إرتفاعها الذى لايتجاوز المترين ، ويختلف مظهرها المورفولوجى بين الشكل القبابى أو الجرسى أو المخروطى ، تبعاً لعدد من العوامل هى (صورة ٢-٣٨):

(أ) القوام ومدى تشبعها بالمياه .
(ب) درجة الحرارة .
(ج) حجم حبيبات الرواسب .

٢- روابى وحواجز المداخن Fumaroles Mounds and Ridges :

المداخن عبارة عن إنبثاق الابخرة والغازات من الشقوق والفواصل فى حالتها الغازية، دون خروج المياه الحارة فى صورتها السائلة ، وتتألف المواد المنبثقة من المداخن عادة من بخار الماء مختلطا بثانى أكسيد الكربون والهيدروجين والكلور والميثان ، وهى بذلك تختلف عن

الفــوارات الحارة التي تندفع منها المياه على حالتها السائلة ثم تتوقف برهة من الزمن ثم تعاود إندفاعها من جديد (صورة ٢-٣٩).

وتتكون روابي المداخن نتيجة تسرب بخار الماء من خزان للمياه الجوفية يقع بالقرب من مصدر حراري ، فترتفع درجة حرارة المياه إلى درجة الغليان ، فتفور وتتسرب الغازات وبخار المــاء مختلطة ببعض معادن الصخور القابلة للذوبان في بخار الماء الحار من المتسرب من خلال الشــقوق والفواصل ، فتتجمع الرواسب حول فوهة المدخنة مكونة رابية محدودة الإرتفاع ، قبابية أو جرسية الشكل .

وقــد يتسرب بخار الماء المحمل بالرواسب من خلال الشقوق الطولية ، مكوناً حاجز طــولي من الإرسابات المتصلبة ، ويرتبط التركيــب المعــدني للظاهرتين بالطبقات الصــخرية التي استخلصت منها ، فقد تــتكون مــن الســليكا ، أو التوفا ، أو الترافرتين ، أو أكاسيد الحديد .



صورة (٢-٣٩) رابية متكلسة حول فوهة مدخنة

(ز) أشكال بركانية مُتبقية :

:Residual (Remnant) Volcanic Landforms

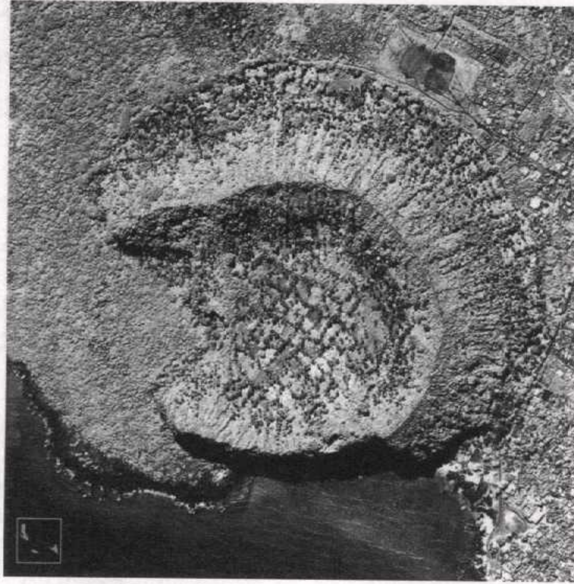
تشــتمل هــذه المجموعة من الأشكال تأثير عوامل التعرية على الإنبثاقات البركانية وتضم مايلي :

١- الهياكل والأعناق البركانية

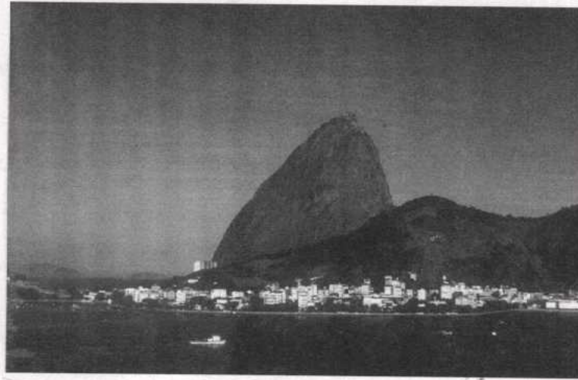
volcanic Skeletons , Necks and Diatremes

تـــتعرض الـــبراكين كغيرهـــا مـــن الأشكال التضاريسية لتأثير عوامل التجوية والتعرية باستمرار، وتضمحل مخروطات الرماد بسهولة لأنها تتكون من مواد هشة ، ورغم ذلك فإن كل التركيبات البركانية سوف تتلاشى ، وبتقدم نشاط التعرية فإن الصخور التى تتكون منها القصبة كـــثيراً مـــا تقاوم هذا النشاط ، وقد تبقى بارزة فوق سطح الأرض حتى بعد أن تختفى معظم مكونات المخروط ويعتقد بأن "شب روك -الصخرة السفينة " بولاية " نيومكسيكو" هى عبارة عن ذلك التركيب المسمى بالرقبة البركانية ، فهذا التركيب يفوق فى إرتفاعه ناطحات السحاب هـــو واحد من عدة تركيبات تبرز بوضوح من الأراضى الصحراوية الحمراء فى الجنوب الغربى للولايات المتحدة (صورة ٢-٤٠) .

تتأثر المخروطات البركانية الخامدة بعوامل التعرية ، فتعمل على إزالة بعض أجزائها الخارجية ، حيث تتساقط جدران فوهة البركان ، وتنهار السفوح الجانبية لجسم المخروط بفعل الجاذبية الأرضية ، ولا يتبقى منه فى النهاية سوى عمود بركانى يمثل قصبة البركان Volcanic Neck ، التى تقف منعزلة وتشير إلى موقع البركان القديم (صورة ٢-٤١).



صورة (٢-٤٠) مرئية فضائية لمخروط بركاني خامد يتعرض لعمليات التجوية وعوامل النحت البحرى وفعل الرياح فى جزر القمر



صورة (٢-٤١) عنق بركاني متبقى عن بركان خامد تعرض لعوامل التعرية
(تصوير : Frnk Eckardt, in: Slattery, 2004)

٢- أشكال الكارست البركانية Volcano Karst :

أستخدم (Naum et al.,1962) مصطلح أشكال الكارست البركانية لأول مرة ويشمل الظاهرات الجيومورفولوجية الآتية :

(أ) حلقات التوفا Tuff Rings

(ب) مخروطات التوفا Tuff Cones

(ج) الخرافيش البركانية Volcanic Yardang

(د) الخيم أو الأكواخ البركانية Volcanic Tents or Wigwams

٣- تعرية القواطع النارية Dikes:

{حواجز السدود النارية " الديناصورات " (Barrier Dikes (Dikes}

أحد أشكال الثورانات البركانية التى تقطع الطبقات الصخرية رأسياً ، وتعمل على انصهار الصخور المحيطة بها وتحويلها إلى صخور متحولة تبعاً لشدة حرارتها . ويتوقف شكل الظاهرة الناتجة من اختراق السدود النارية للقشرة السطحية على طبيعة المادة المكونة للسد النارى ودرجة صلابتها بالنسبة للصخور التى تخترقها ، فتعمل عوامل التعرية على نحت وتآكل الطبقات الأقل صلابة ، فإذا كانت السدود أشد مقاومة فإنها تبقى على شكل حواجز طولية تمتد أحياناً لمسافات كبيرة ، وتشبه الديناصورات الرابضة بالصحراء ، تمثل السدود أعمدتها الفقرية ، أما إذا كانت المادة المكونة للسد النارى أقل صلابة من الطبقات المجاورة لها ، تحفر السدود الخنادق الطولية بدلاً من السدود ، كأحد أشكال الإنقلاب التضاريسى . وقد ميز المؤلف أعداداً كبيرة من الحواجز النارية بمنطقة "سانت كاترين" بشبه جزيرة سيناء ، كما تتمثل هذه السدود فى الصحراء الليبية شمالى "الهروج الأسود" .

٤- ظاهرات ناتجة عن تعرية الفوهات البركانية Craters:

(أ) البحيرات البركانية الإنهيارية Caldera:

الكالديـــرا Caledera عبارة عن بحيرات كـــبيرة المساحة ، مرتفعة المنسوب ، تتميز بشـــدة إنحـــدار جوانبها الخارجية ، دائرية الشـــكل فى أغلب الأحيان ، تحتل فوهات بعـــض البراكين الخامدة بسبب توسيع فوهته بـــتأثير عوامــــل الـــتعرية ، مما يساعد على إنكشـــاف غرفة الصهير المفرغة جزئياً الغير مـــنفذة للمياه ، وتجمع مياه الأمطار داخل الفوهـــة المتسعة مكونة بحيرة من المياه العذبة، وقـــد يعاود البركان ثورانه من جديد مكوناً مخروطاً ثانوياً داخل البحيرة على شكل جزيـــرة مخروطية الشكل تبرز داخل البحيرة الأصلية (صورة ٢-٤٢).



صورة (٢-٤٢) بحيرة بركانية أنبثق داخلها مخروط بركانى ثانوى (تصوير : Ann Dittmer, 2002, in: Slattery, 2004)

ويـــبلغ إتساع بحيرة الفوهة المعروفة باسم " Crater Lake" فى ولاية أوريجون حوالى ١٠ كيلومـــترات ، ويصـــل عمقها لنحو ١٣٠٠ متر ، وبدأت هذه الفوهة فى التكوين منذ حـــوالى ٧٠٠٠ سنة، ولكن هذا الفوران التاريخى كان ضخم جداً ، فقد خرج منه ما يقدر بحـــوالى ٧٠كيلومترا مكعباً من المواد البركانية ، ونظراً لثقل هذه الكمية وإفتقارها إلى الدعم مـــن الداخل فقد تحطم جزء من المخروط الذى كان يصل إرتفاعه لنحو ٣٦٠٠ متر، وبعد تهـــدم المخروط تجمعت مياه الأمطار داخل فوهة البركان الشاسعة ، مكونة بحيرة ذات مياه دفيـــئة تكتسب حرارتها من العنق القديم للبركان المندثر ، كما تتمثل بمنطقة "حائل" بشمال الســـعودية أثنين من البحيرات البركانية على قمتى جبلى " أجا وسلمى" البركانيين ، حيث تتجمع داخلهما مياه السيول الصحراوية ، إلا أنها سرعان ما تجف فى فصل الصيف القائظ ، كما توجد العديد من البحيرات البركانية تحتل أحدها فوهة بركان خامد يدعى "جبل التل" فى منطقة "حرة كيشب" شمال شرق مكة المكرمة بحوالى ١٥٠ كم ، إضافة إلى فوهة إنهيارية أخـــرى عـــلى قمة بركان خامد يقع ضمن نطاق حرة "حطيمة" شرق ساحل البحر الأحمر

بحوالى ٥٥٠ كم ، وفوهة أخرى على قمة بركان بازلتى قديم بالجزء الغربى من حرة "خيبر" (Coleman, 1993).

(ب) الفوهات البركانية المنخفضة المنسوب "مار" Maars:

يتميز هذا النوع من فوهات البراكين بإنخفاض منسوبه ، وصغر مساحته التى لا تتعدى الكيلومتر المربع ، وهو يقترن عادة بالبراكين القاعدية المحدودة الإرتفاع ، وكثيراً ما تختلط الحمم البركانية بالمياه الباطنية عند إختراقها لمستوى الماء الجوفى مما يؤدى إلى غليانها ، وإختلاطها بالحمم المنبثقة من الفوهة.



صورة (٢-٤٣) بحيرة منخفضة المنسوب "مار" يبلغ قطرها حوالى ٣٠٠ متر تكونت خلال ١٠ أيام من ثوران أحد براكين "آلاسكا" – مصدر الصورة: http://volcanoes.usgs.gov/Products/Pglossary/maar.html

وعند توقف البركان عن الثوران، تتكون بحيرة دائرية ضحلة تشغل فوهة البركان، تعمل على تجميع مياه الأمطار داخلها ، وهى بذلك تتشابه مع البحيرات البركانية Caledera إلا أنها ذات منسوب منخفض، وصغيرة المساحة ، كما أنها تستمد مياهها الأولية من باطن الأرض (صورة ٢-٤٣) .

(ج) الفوهات القمعية الشكل Funnel-Shape Crater:

عبارة عن فوهات تشبه القمع المقلوب نتيجة إتساعها الكبير فى حوافها الخارجية ، بينما يضيق عنق ومخرج الحمم البركانية ، بسبب ضعف قوة دفع المصهورات البركانية ، الذى قد يحدث لأحد الأسباب الآتية (Blume, 1992:42):

١- إنخفاض درجة حرارة الماجما.

٢- إختلاط الماجما بالمياه الجوفية .

٣- عظم عمق خزان الماجما .

(د) الفوهات المجوفة Pit Crater

يشبه هذا النوع من الفوهات البركانية إبريق الشاى أو الغلايات Kettle-Shape Crater

(هـ) حلقات التوفا Tuff Rings:

تتكون حلقات التوفا من إنبثاق مفتتات السيكوريا البازلتية نتيجة إندفاع الثوران البركانى مـــن قـــاع بحيرة أو مسطح بحرى ضحل ، أو فى منطقة غنية بالطبقات الحاملة للمياه الجوفية ، وعلى ذلك تتشبع الحمم البركانية المندفعة بالمياه ، وتستمر فى ثورانها لفترات زمنية طويلة ولكن بقوة ضعيفة ، بسبب إختلاط الماجما بالمياه ، مما ساهم فى تحديد مظهرها الجيومورفولوجى الذى يتميز بالخصائص الآتية (Scarth,1994) :

١- تـــبدو حلقات التوفا أقل إرتفاعاً نظراً لتراكم كيات أقل من الحمم ، إذ يتراوح إرتفاعها بين ٤٠ و٦٠ متر وقد تصل لحوالى ١٥٠ متر .

٢- جوانبها الخارجية هينة الإنحدار.

٣- قيعانها ضحلة وكثيراً مايرتفع منسوبها عن الأراضى المتاخمة لها ، ولذلك من النادر أن تتجمع داخلها مياه الأمطار .

٤-تتراوح أقطارها بين نصف كيلومتر إلى كيلومتر واحد.

٤- تترســـب عـــلى ســـطوحها طبقة رقيقة من التوفا لايزيد سمكها عن ٥ أو ١٠ سنتيمترات .

توجد العديد من حلقات التوفا فى المناطق البركانية فى العالم ، لعل أشهرها حلقة "Cerro Xico" التى تشرف على مدينة نيومكسيكو مباشرة ، وحلقة أخرى قديمة تُدعى "Diamond Head" فى جزيرة "أوهاو Oahu" إحدى جزر "هاواى".

٥- المسيلات البركانية Volcanic Planezes :

تـــتكون المسيلات بتأثير تعرية الماء الجارى على منحدرات المخروطات البركانية ، وتتعدد مصادر المياه الجارية على البراكين ، مثل هطول الأمطار، أو فيضان المياه من البحيرات البركانية

المتمركزة داخل فوهة البركان [1]، أو ذوبان الثلج نتيجة إرتفاع درجة حرارة الجو . كما يختلف شـــكل المقطع العرضى للمسيل ، ودرجة إتساعه ، ومدى تعرجه ، ونوعية الرواسب المنتشرة على قاعه وفقاً لعدد من العوامل أهمها مايلى (صورتا ٢-٤٤ ، ٢-٤٥) :

(أ) كمية الأمطار الساقطة وفصليتها .

(ب) درجـــة إنحدار جوانب المخروط البركانى وطبيعة ودرجة تقوسه (محدب – مقعر– مستقيم – مركب).

(ج) نوعية الرماد البركانى أو الحمم المتصلبة على جوانب البركان ودرجة صلابتها.

(د) خصائص وكثافة الغطاء النباتى إن وجد على جسم البركان.

[1] تعرض أحد براكين الفلبين لمخاطر فيضان أحدى البحيرات البركانية Caledera خلال عام ٢٠٠٢ ، فقامت الجهات المسئولة بشق قنوات لتصريف مياه البحيرة من قمة البركان بعيداً عن المحلات العمرانية.



صورة (٢-٤٤) فوهة بركان "Panum" تظهر داخلها قبة محاطة بحلقة محدودة الإرتفاع من التوفا فى منطقة "Mono Lake" شرق ولاية "كاليفورنيا" الأمريكية- مصدر الصورة:
www.geosci.unc.edu/.../ MonoTrip/Leg2.html



صورة (٢-٤٥) مسيلات جبلية ناتجة عن فعل التعرية المائية بالقرب من فوهة بركان "فولكانو" الإيطالى (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)

قائمة المراجع :

أولاً : مراجع عامة :

١-جودة حسنين جودة ، ١٩٨٩ : الجيومورفولوجيا ، دار المعرفة الجامعية ، الإسكندرية.

٢-جـــودة فتحى التركمانى ، ٢٠٠٣ : أشكال السطح ، دراسة فى أصول الجيومورفولوجيا ، بدون ناشر ، القاهرة.

٣- حســـن سيد أحمد أبوالعينين ، ١٩٩٥ : أصول الجيومورفولوجيا ، الطبعة الحادية عشرة ، مؤسسة الثقافة الجامعية ، الإسكندرية.

٧-محمـــد صبرى محسوب ، ١٩٩٨: جيومورفولوجية الأشكال الأرضية ، دار الفكر العربى ، القاهرة.

٨------------، ٢٠٠١: الأطلس الجيومورفولوجى ، معالجة تحليلية للشكل والعملية، دار الفكر العربى ، القاهرة.

٩- محمد مجدى تراب ، ١٩٩٦: أشكال الصحارى المصورة ،منشأة المعارف ، الإسكندرية.

١٠------------١٩٩٧ : الـتطور الجيومورفولوجى لحوض وادى قصيب بالنطاق الشرقى من جنوب شبه جزيرة سيناء ، مجلة الجمعية الجغرافية المصرية ، العدد التاسع والعشرون، الجزء الثانى .

١١- ---------- ، ٢٠٠٤: أساســيات الجغرافــية الطبيعــية ، مكتبة الفلاح للنشر والتوزيع ، العين ، ٤٤٠ ص.

ثانياً : مراجع عن الأشكال البركانية :

1- Applegate, T.B., Jr. (1990). Volcanic and structural morphology of the south flank of Axial Volcano, Juan de Fuca Ridge: Results from a Sea MARC I side-scan sonar survey, Journal of Geophysical Research, 95: 12,765-12,783.

2- Applegate, T.B., Jr., and R.W. Embley (1992). Submarine tumuli and inflated tube-fed lava flows on Axial Volcano, Juan de Fuca Ridge, Bulletin of Volcanology, 54: 447-458.

3- Atwater, T. and J. Severinghaus (1989). Tectonic maps of the northeast Pacific. In: The eastern Pacific Ocean and Hawaii, edited by E.L. Winterer et al., Geological Society of America, Geology of North America, N: 15-20.

4- Baker, E.T., (1994). A 6-year time series of hydrothermal plumes over the Cleft segment of the Juan de Fuca Ridge, Journal of Geophysical Research, 99: 4889-4904.

5- Blume H., 1992. Colour atlas of the surface forms of the earth, Cambridge, Mass. : Harvard University Press, 139 p.

6- Chadwick, W.W., Jr., R.W. Embley, and C.G. Fox (1991). Evidence for volcanic eruption on the southern Juan de Fuca Ridge between 1981 and 1987, Nature, 350: 416-418.

7- Chadwick, W.W. Jr., R.W. Embley, T.M. Shank (1998). The 1996 Gorda Ridge eruption: geologic mapping, sidescan sonar, and SeaBeam comparison results, Deep Sea Research II, 45: 2547-2569.

8- Clague, D.A., J.R. Reynolds, and A.S. Davis (2000). Near-ridge seamount chains in the northeastern Pacific Ocean, Journal of Geophysical Research, 105: 16,541-16,561.

9- Clague, D.A. and M.L. Holmes (1987). Geology, petrology, and mineral potential of the Gorda Ridge. In: Geology and resource Potential of the Continental Margin of Western North America and Adjacent Ocean Basins—Beaufort Sea to Baja California, edited by D.W. Scholl, A. Grantz, and J.G. Vedder, Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Series, Houston, TX, 563-580.

10-Clague, D.A. and P.A. Rona (1990). Geology of the GR14 site on northern Gorda Ridge. In: Gorda Ridge: A Seafloor Spreading Center in the U.S. Exclusive Economic Zone, edited by G.R. McMurray, Springer-Verlag, New York, 31-50.

11-Coleman,R.G.(1993). Geologic evolution of the Red Sea, Oxford University Press, New York, 186 p.

12-Collier, R.W., S.H. Holbrook, and J.M. Robbins (1986). Studies of trace metals and active hydrothermal venting on the Gorda Ridge, Oregon Department of Geology and Mineral Industries, Report 0-86-13: 36 pp.

13-Cowen, J.P., M.A. Bertram, E.T. Baker, R.A. Feely, G.J. Massoth, and M. Summit (1998). Geomicrobial transformation of manganese in Gorda Ridge event plumes, Deep-Sea Research II, 45: 2,713-2,737.

14-Davis, A.S. and D.A. Clague, (1987). Geochemistry, mineralogy, and petrogenesis of basalt from the Gorda Ridge, Journal of Geophysical Research, 92: 10,467-10,483.

15-Davis, A.S., and D.A. Clague (1990). Gabbroic xenoliths from the northern Gorda Ridge: Implications for magma chamber processes under slow spreading centers, Journal of Geophysical Research, 95: 10,885-10,905.

16-Davis, A.S., and D.A. Clague (2000). Seamount structure and petrology of basalts from the President Jackson Seamounts, northern Gorda Ridge: magmatic relationship between on- and off-axis volcanism, Journal of Geophysical Research, 105: 27, 956.

17-Davis, A.S., D.A. Clague, and W.F. Friesen. (1994). Petrology and mineral chemistry of basalt from Escanaba Trough, southern Gorda Ridge, U.S. Geological Survey Bulletin, 2022: 153-170.

18-Davis, A.S., D.A. Clague, W.A. Bohrson, G.B. Dalrymple, and H.G. Greene (in press). Seamounts at the Continental Margin of California: A Different Kind of Oceanic Intra-Plate Volcanism, Bulletin Geological Society of America.

19-Davis, A.S., D.A. Clague, and W.M. White (1998). Geochemistry of basalt from Escanaba Trough: Evidence for sediment contamination, Journal of Petrology, 39: 841-858.

20- Davis, A.S., L.B. Gray, and D.A. Clague (1998). Non-hotspot ocean island volcanoes: examples from the central and NE Pacific Ocean. In: Evolution of Ocean Island Volcanoes, Geological Society of America, Penrose Conference Series, Galapagos, Ecuador, p.27.

21- Delaney, J.R., H.P. Johnson, and J.L. Karsten (1981). The Juan de Fuca ridge-hotspot-propagating rift system: New tectonic, geochemical, and magnetic data, Journal of Geophysical Research, 86: 11,747-11,750.

22- Embley, R.W. and D.S. Wilson (1992). Morphology of the Blanco Transform Fault Zone—NE Pacific: Implications for its tectonic evolution, Marine Geophysical Researches, 14: 25-45.

23- Embley, R.W., K.M. Murphy, and C.G. Fox (1990). High-resolution studies of the summit of Axial Volcano, Journal of Geophysical Research, 95: 12,785-12,812.

24- Embley, R.W., S.G. Merle, R.S. Yeats, C. Goldfinger, J. Reynolds, and D.A. Clague (in press). A Forearc Section of the Cascadia Subduction Zone at Heceta Bank off Oregon Revealed by High Resolution Imagery: Extension of Geologic Mapping to the Continental Shelf, Marine Geology.

25- Embley, R.W., W. Chadwick, M.R. Perfit, and E.T. Baker (1991).Geology of the northern Cleft segment, Juan de Fuca Ridge: Recent lava flows, sea-floor spreading, and the formation of megaplumes, Geology, 1:, 771-775.

26- Embley, R.W., and W.W. Chadwick, Jr. (1994). Volcanic and hydrothermal processes on the southern Juan de Fuca Ridge, Journal of Geophysical Research, 99: 4741-4760.

27- Embley, R.W., W.W. Chadwick, Jr., D. Clague, and D. Stakes (1999). 1998 Eruption of Axial Volcano: Multibeam anomalies and seafloor observations, Geophysical Research Letters, 26: 3425-3428.

28- EEZ-Scan 84 Scientific Staff (1988). Physiography of the western United States Exclusive Economic Zone, Geology, 16: 131-134.

29- EEZ-Scan 84 Scientific Staff (1986). Atlas of the Exclusive Economic Zone, Western Conterminous United States, U.S.

Geological Survey Miscellaneous Investigations Series I-1792, 152 pp.

30- Fairbridge,R.W.(1969). The encyclopedia of Geomorphology, John Wiley & Sons Inc., New York, 1295p.

31-Fisk, M.R., and K.J. Howard, Geology and Geophysics of Gorda Ridge (1987). In: Gorda Ridge: A Seafloor Spreading Center in the U.S. Exclusive Economic Zone, edited by G. R. McMurray, Springer-Verlag, New York, 3-17.

32-Fisk, M.R., R.A. Duncan, C.A. Fox, and J.B. Witter (1993), Emergence and petrology of the Mendocino Ridge, Marine Geophysical Researches, 15: 283-296.

33-Francis,P (1993). Volcanoes a planetry perspective, Clarendon Press, New York, 443 p.

34-Gerrard, J. (1986). Rocks and Landformss, London: Unwin Hyman.

35-Goldstein, S.J., M.T. Murrel, D.R. Janecky, J.R. Delaney, and D.A. Clague (1992). Geochronology and petrogenesis of MORB from the Juan de Fuca and Gorda Ridges by ^{238}U- ^{230}Th disequilibrium, Earth and Planetary Science Letters., 109: 255-272.

36-Hammond, S.R. (1997). Offset caldera and crater collapse on Juan de Fuca ridge-flank volcanoes, Bulletin of Volcanology, 58: 617-627.

37-Kappel, E.S. and W. Ryan (1986). Volcanic episodicity and a non-steady-state rift valley along northeast Pacific spreading centers: Evidence from SeaMARC I, Journal of Geophysical Research, 91: 13,925-13,940.

38-Koski, R.A., D.A. Clague, and E. Oudin (1984). Mineralogy and chemistry of massive sulfide deposits from the Juan de Fuca Ridge, Geological Society of America Bulletin, 95: 930-945.

39-Kulm, L.D., E. Suess, J.C. Moore, B. Carson, B.T. Lewis, S.D. Ritger, D.C. Kadko, T.M. Thornburg, R.W. Embley, W.D. Rugh, G.J. Massoth, M.G. Langseth, G.R. Cochrane, and R.L. Scamman (1986). Oregon subduction zone: Venting, fauna, and carbonates, Science, 231: 561-566.

40-Lonsdale, P. (1991) Structural patterns of the Pacific floor offshore of peninsular California. In: The gulf and peninsular province of the

Californias: American Association of Petroleum Geologists Memoir, edited by Dauphin et al., 47: 87-125.

41-MacKay, M.E., (1995). Structural variation and landward vergence at the toe of the Oregon accretionary prism, Tectonics, 14: 1309-1320.

42-MacKay, M.E., G.F. Moore, G.R. Cochrane, J.C. Moore, and L.D. Kulm (1992). Landward vergence and oblique structural trends in the Oregon margin accretionary prism: Implications and effects on fluid flow, Earth and Planetary Science Letters, 109: 477-491.

43-Masson, D.G., D.A. Cacchione, and D.E. Drake (1988).Tectonic evolution of Gorda Ridge inferred from sidescan sonar images, Marine Geophysical Researches, 10: 191-204.

44-MBARI Mapping Team, (2001). Santa Barbara Multibeam Survey, Monterey Bay Aquarium Research Institute, Digital Data Series No. 4. (this is referenced for Rodriquez Seamount).

45-MBARI Mapping Team, (2000). Monterey Bay Multibeam Survey, Monterey Bay Aquarium Research Institute, Digital Data Series No. 3. (this is referenced for Davidson Seamount).

46-Morton, J.L., M.L. Holmes, and R.A. Koski (1987). Volcanism and massive sulfide formation at a sedimented spreading center, Escanaba Trough, Gorda Ridge, northeast Pacific Ocean, Geophysical Research Letters, 14: 769-772.

47-Morton, J.L., R.A. Zierenberg, and C.A. Reiss (1994). Geologic, hydrothermal, and biologic studies at Escanaba Trough: An Introduction, U.S. Geological Survey Bulletin, Report B 2022, 1-18.

48-Nielsen, R.L., J.Crum, R. Bourgeois, K. Hascall, L.M. Forsythe, M.R. Fisk, and D.M. Christie (1995). Melt inclusions in high-An plagioclase from the Gorda Ridge: An example of the local diversity of MORB parent magmas, Contributions to Mineralogy Petrology, 122: 34-50.

49-Nittrouer, C.A., ed. (1999). The Formation of Sedimentary Strata on Continental Margins. Marine Geology 154: 1-426.

50-Normark, W.R. and F. Serra (2001). Verical tectonics in northern Escnaba Trough as recorded by thick Quaternary turbidites, Journal of Geophysical Research, 106: 13,793-13,802.

51-Ross, S. L. and R.A. Zierenberg (1994). Volcanic geomorphology of the SESCA and NESCA sites, Escanaba Trough, U.S. Geological Survey Bulletin, 2022: 143-151.

52-Rubin, K.H., M.C. Smith, M.R. Perfit, D.M. Christie, and L.F. Sacks (1998). Geochronology and geochemistry of lavas from the 1996 North Gorda Ridge eruption, Deep-Sea Research II, 45: 2571-2597.

53-Scarth,A. (1994). Volcanoes, Texas A&M University Press Colledge station, UK, 273 p.

54-Slattery, M.,(ed.) 2004. Atlas of Geomorphology on CD., Christian University, Texas.

55-Smith, M.C., M.R. Perfit, and I.R. Jonasson (1994). Petrology and geochemistry of basalts from the southern Juan de Fuca Ridge: controls on the spatial and temporal evolution of mid-ocean ridge basalt, Journal of Geophysical Research, 99: 4787-4812.

56-Volpe, A.M., and S.J. Goldstein (1993) ^{226}Ra -^{230}Th disequilibrium in axial and off-axis mid-ocean ridge basalts, Geochimica et Cosmochimica Acta 57: 1233-1241.

57-Zierenberg, R.A., P. Schiffman, I.R. Jonasson, R. Tosdal, W. Pickthorn, and J. McClain (1995). Alteration of basalt hyaloclastite at the off-axis Sea Cliff hydrothermal field, Gorda Ridge, Chemical Geology, 126: 77-99.

ثالثاً : مراجع عن الأشكال البنيوية :

1. Allmendinger, R.W. 1998, Inverse and forward modeling of trishear fault-propagation folds. Tectonics v. 17., p. 640-656.
2. Azor, A., Keller, E. A., and Yeats, R. S., Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain–Oak Ridge anticline, Ventura basin, southern California: Geological Society of America Bulletin, v. 114, p. 745–753.
3. Baldwin, J. N., Kelson, K. I., Randolph, C. E., 2000, Late Quaternary fold deformation along the Northridge Hills Fault, Northridge, California; deformation coincident with past Northridge blind-thrust earthquakes and other nearby structures?:

Bulletin of the Seismological Society of America, v. 90, p. 629-642.

4. Barragan, R., R. Baudino, and R. Marocco, Geodynamic evolution of the Neogene intermontane Chota basin, Northern Andes of Ecuador, Journal of South American Earth Sciences, 9, 309-319, 1996.
5. Batt, G. E., Brandon, M. T., Farley, K. A., and Roden-Tice, M., 2002, Tectonic synthesis of the Olympic Mountains segment of the Cascadia wedge, using 2-D thermal and kinematic modeling of isotopic ages: Journal of Geophysical Research, v. 000, p. 000-000.
6. Birkeland, P., 1999, Soils and geomorphology: New York, Oxford University Press, 430 p.
7. Boudiaf, A. Ritz, J-F, and Phillip, H., 1998, Drainage diversions as evidence of propagating active faults; an example of the El Asnam and Thenia faults, Algeria: Terra Nova, v. 10, p. 236-244.
8. Boyer, S. E. and Elliot, D., 1982, Thrust systems: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 66, p. 1196-1230.
9. Brandon, M. T., and Calderwood, A. R., 1990, High-pressure metamorphism and uplift of the Olympic subduction complex: Geology, v. 18, p. 1252-1255.
10. Brandon, M. T., and Vance, J. A., 1992, Tectonic evolution of the Cenozoic Olympic subduction complex, Washington State, as deduced from fission track ages for detrital zircons: American Journal of Science, v. 292, p. 565-636.
11. Brandon, M. T., Roden-Tice, M. K., and Garver, J. I., 1998, Late Cenozoic exhumation of the Cascadia accretionary wedge in the Olympic Mountains, northwest Washington State: Geological Society of America Bulletin, v. 110, p. 985-1009.
12. Brozovic, N., Burbank, D. W., Fielding, E., and Meigs, A. J., 1995, The spatial and temporal topographic evolution of Wheeler Ridge, California: New insights from digital elevation data [abstract]: Geological Society of America, Abstracts with Programs, v. 27, p. 396.
13. Bullard, T. F. and Lettis, W. R., 1993, Quaternary fold deformation associated with blind thrust faulting, Los Angeles Basin, California: Journal of Geophysical Research, v. 8349-8369.

14. Burbank, D. and Anderson, R., 2000, Tectonic Geomorphology: Oxford, Blackwell Science Ltd., 288 p.
15. Burbank, D. W., Meigs, A., and Brozovic, N., 1996, Interactions of growing folds and coeval depositional systems: Basin Research, v. 8, p. 199-223.
16. Burbank, D. W., McLean, J. K., Bullen, M., Abdrakhmatov, K. Y., and Miller, M. M., 1999, Partitioning of the intermontane basins by thrust-related folding, Tien Shan, Kyrgyzstan: Basin Research, v. 11, p. 75-92.
17. Dalton, T.D., A.S. Meltzer, B. Carson, S. Fritz, J. Faberman, and R. Moeller, Late Pleistocene-Holocene lake history based on integrated sedimentological and ground penetrating radar investigations, Paleolimnology, in review.
18. Davis, D. Suppe, J., Dahlen, F.A. 1983. Mechanics of fold and thrust belts and accretionary wedges. Jour. Geophy. Research v. 88 p. 1153-1172.
19. Davis, J.L., and A.P. Annan, 1989, Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy: Geophysical Prospecting, 37, p. 531-551.
20. Delcaillau, B., Deffontaines, B., Floissac, L., Angelier, J., Deramond, J., Souquet, P., Chu, H. T., and Lee, J. F., 1998, Morphotectonic evidence from lateral propagation of an active frontal fold; Pakuashan Anticline, foothills of Taiwan: Geomorphology, v. 24, p. 263-290.
21. Demanet, D., F. Renardy, K. Vanneste, D. Jongmans, T. Camelbeeck, and M. Meghraoui, 2001, The use of geophysical prospecting for imagin active faults in the Roer Graben, Belgium: Geophysics, 66, p. 78-89.
22. Ego, F., M. Sebrier, A. Lavenu, H. Yepes, and A. Egues, Quaternay state of stress in the Northern Andes and the restraining bend model for the Ecuadorian Andes, Tectonophysics, 259, 101-116, 1996.
23. Erslev, E.A. 1991, Trishear fault-propagation folding: Geology, v. 19, p. 617-620.
24. Fischer, MP, Woodward, NB, Mitchell, MM 1992, The kinematick of beak-thrust folds: Jour. Struct., Geol. v. 14, p. 451-460.

25. Meltzer, A.S., and C. Almy, 2000, Fault structure and earthquake potential Lajas Valley, SW Puerto Rico: EOS, Transaction, American Geophysical Union, 81, F1181.
26. Olskin, M., Sieh, K., Rockwell, T., Miller, G., Guptill, P., Curtis, M., McArdle, S., Elliot, P., 2000. Active parasitic folds on the Elysian Park anticline: Implications for seismic hazard in central Los Angeles, California. GSA Bulletin, v. 112, n. 5, p. 693-707.
27. Poblet, J. McClay, K., Storti, F., Munoz, JA. 1997, Geometries of syntectonic sediments associated with single-layer detachment folds: Jour. Struct. Geol., v. 19, p. 4369-381.
28. Powell, R. and Matti, J., (in review), Geologic map and digital database of the Lucerne Valley 7.5' Quadrangle, San Bernardino County, California: U. S. Geological Survey, Open File Report, scale 1:24,000.
29. Pubellier, M., Deffontaines, B., Quebral, R., and Rangin, C., 1994, Drainage network analysis and tectonics of Mindanao, southern Philippines: Geomorphology, v. 9, p. 325-342.
30. Pullen, S.E., and J.A. Hunter, 1990, Delineation of buried bedrock valleys using the optimum offset shallow seismic reflection technique, in Ward, S. H., ed., Geotechnical and environmental geophysics: Society of Exploration Geophysicists, p. 75-87.
31. Shaw, J.C. Suppe, J. 1995 Earthquake hazards of active blind-thrust faults under the central Los Angeles basin California. Jour. Geophy. Research v. 101 p. 8623-8642.
32. Shedlock, K.M., T.M. Brocher, and S.T. Harding, 1990, Shallow structure and deformation along the San Andreas fault in Cholame Valley, California, based on high-resolution reflection profiling, Journal of Geophysical Research, 95, p. 5003-5020.
33. Shtivelman, V., U. Frieslander, E. Zilberman, and R. Amit, 1998, Mapping shallow faults at the Evrona playa site using high-resolution reflection method, Geophysics, 63, p. 1257-1264.
34. Snavely, P. D., Kvenvolden, K. A., Rapp, J. B., Hostettler, F. D., and Golan-Bac, M., 1989, Preliminary evaluation of the petroleum potential of the Tertiary accretionary terrane, west side of the Olympic Peninsula, Washington: U. S. Geological Survey Bulletin 1892, 44 p.

35. Spotila, J. and Sieh, K., 2000, Architecture of transpressional thrust faulting in the San Bernardino Mountains, southern California, from deformation of a deeply weathered surface: Tectonics, v. 19, n. 4, p. 589-615.
36. Suppe, J. Chou, G.T., Hook, S.C. 1991. Rates of folding and faulting determined from growth strata. In. Thrust Tectonics, ed. K. McClay, pp. 105-121. Chapman and Hall, London.
37. Suppe, J., 1983, Geometry and Kinematics of Fault Bend Folding: American Journal of Science, v. 283, p. 684-721.
38. Suppe, J., Medwedeff, D.A. 1990 Geometry and kinematics of fault propagation folding Eclog. Geol. Helv. V. 83 p. 409-454.
39. Tabor, R. W. and Cady, W. M., 1978a, Geologic Map of the Olympic Peninsula: U.S. Geological Survey Map I-994, 2 sheets, scale 1:125,000.
40. van der Beek, P., Champel, B., and Mugnier, J-L., 2002, Control of detachment dip on drainage development in regions of active fault propagation folding: Geology, v. 30, p. 471-474.
41. Wang, K., 1996, Simplified analysis of horizontal stresses in a buttressed forearc sliver at an oblique subduction zone: Geophysical Research Letters, v. 23, p. 2021-2024.
42. Winter, T., Avouac, J. P., Lavenu, A., 1993, Late Quaternary kinematics of the Pallatanga strike-slip fault (central Ecuador) from topographic measurements of displaced morphological features: Geophysical Journal International, v. 115, p. 905-920.

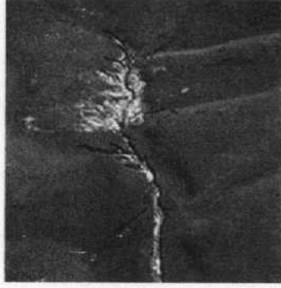
الفصل الثالث
أشكال فيضية
(نهرية)

أولاً: الأنهار.
ثانياً: الوادى النهرى.
ثالثاً: المجرى النهرى.
رابعاً: أنماط التصريف النهرى.
خامساً: الدورة الجيومورفولوجية.
سادساً: الإرساب الحوضى فى المناطق شبه الجافة.
سابعاً: تأثير تغير منسوب مستوى القاعدة على نظم التصريف.
ثامناً: تأثير التراكيب البنيوية على نظم التصريف النهرى.
تاسعاً: تأثير ميل الطبقات الصخرية على نظم التصريف.
عاشراً: الأسر (القرصنة) النهرى.

الفصل الثالث
أشكال فيضية (نهرية)

تعتبر الأنهار أكثر عوامل تشكيل سطح الأرض قوة ونشاطاً ، وتسوية سطحه ، فهى القوة القـــادرة على نحت الجبال والهضاب وحفر الأودية ، وبناء السهول الفسيحة الخصبة التي قامت عليها الحضارات البشرية .

فالـــنهر يـــتكون من تجمع مياه الأمطـــار على شكل مسيلات ، تتلاقى في جـــداول تـــنحدر عـــلى سطح الأرض ، لتـــتجمع مرة أخرى في مجار مائية محدودة الإتســـاع ، لتتلاقى في مجار أكبر ، وهكذا حـــتى تتمكن من تكوين مجرى نهرى قادر عـــلى شق طريقه في القشرة الأرضية حتى يصـــب في أحد المسطحات البحرية ، أو ينتهى في أحد الأحواض الداخلية فلا يصل للـــبحر مثل بحيرة تشاد ، أو البحر الميت ، أو بحـــر قزوين وغيرها ، ويسمى النهر في هـــذه الحالـــة باســـم النهر الداخلى ، أو التصريف المائى الداخلى (صورة ٣-١) .



صورة (٣-١) مسيل مائى يشكل اللبنة الأولى لتكوين النظام النهرى

أولاً : الأنهار .. مصادرها .. عناصرها .. ودورها في تشكيل سطح الأرض :

(أ) مصادر مياه الأنهار:

تـــتعدد مصادر مياه الأمطار ، وقد يكون المطر هو المصدر المباشر لمياه النهر ، ولكن تســـتمد بعـــض الأنهـــار مياهها من ذوبان الجليد ، أو من الينابيع أو العيون المتدفقة من سطح الأرض ، كما يختلف مقدار ماء النهر من فصل إلى آخر، وذلك يرجع بالطبع إلى موسم المطر ،

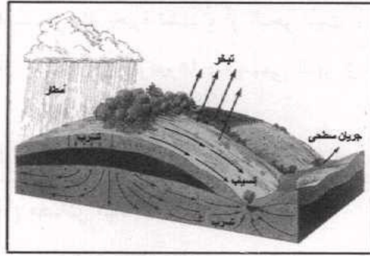
أو فترة الجفاف ، فيكون وفيراً فى الحالة الأولى وأقل فى الحالة الثانية . إلا أن هناك بعض الحالات تساعد على حفظ مستوى مياه النهر دائماً ، ومن هذه الحالات مثلاً وجود بحيرات فى مجرى النهر، فهى تمده بالمياه ، وتعمل بمثابة الخزانات التى تمد النهر بالتدريج بما يحتاجه من مياه ، وكذلك قد توجد بعض الغابات والنباتات التى تعترض مجرى النهر ، فتعوق سرعة جريانه ، فتتجمع مياهه ثم تنصرف بالتدريج – وقد يكون للنهر عدة روافد، تعمل كمصادر دائمة للمياه، وهكذا ... وعلى كل حال – مهما كانت الأنهار منتظمة فى جريانها ، إلا أنه عادة يكون لها موسم فيضان وموسم تحاريق ، وفى الجهات الحارة غالباً ما تكون الأمطار هى سبب الفيضان ، كما يتحكم عامل البخر فى زيادة مياه النهر (شتاء) ونقصانه (صيفاً) ، وهناك بعض الأنهار التى تفيض فى الربيع وأوائل الصيف ، وهى الأنهار التى تغذيها الثلوج الذائبة فى هذا الوقت بالذات ، خصوصاً إذا جاء الربيع دافئاً بعد شتاء قارس طويل .

(ب) عناصر النظم النهرية :

يضم النظام النهرى مجموعة العناصر الآتية :

١– حوض تصريف Drainage Basin :

عبارة عن المساحة الأرضية التى تضم جميع أجزاء النهر من روافده العليا وحتى المصب، وتحدد الحوض مجموعة خطوط يُطلق عليها اسم خطوط تقسيم المياه أو مقاسم المياه Water Divide، أى أعلى المناسيب التى تضم حوض النهر ، فلو سقطت نقطة مياه فى أى جزء من الحوض فإنها تنحدر إلى المجرى النهرى داخل الحوض ، وتصنف أحواض التصريف إلى عدة أنواع وفقاً لأسلوب إنسياب المياه على أسطح أراضى ما بين الأودية نحو شبكات التصريف المائى (شكلا ٣–١ ، ٣– ٢):



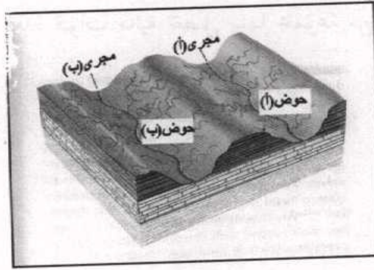
شكل (٣–١) بعض طرق تغذية الأنهار بالمياه

"أ" الأحــواض الخارجية Exorheic Drainages التى تتدفق المياه بسهولة دون وجود عوائــق تضاريســية تحــول دون وصول المياه بسرعة إلى مجارى التصريف ثم إلى المسطحات البحرية المفتوحة (مستوى القاعدة العام).

"ب" الأحــواض الداخلية Endorheic Drainages التى تصب حمولتها داخل اليابس فى الأهوار والمستنقعات والبرك والبحيرات والحُفر الكارستية وغيرها .

"ج" أحــواض عشوائية Arheic Drainages غــير محددة على الإطــلاق بمقاسم المياه، وينتشر هــذا الــنوع من الأحواض فى الصحارى الرملية بصورة مؤقتة عقب سقوط الأمطار ، سرعان مــا تتلاشى معالمها مع تسرب المياه .

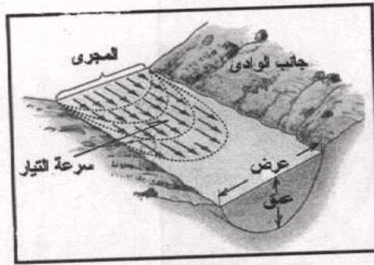
"د" أحــواض جوفية Underground Drainage، ينتشر هذا النوع من الأحواض تحــت ســطح الأرض فى مناطق الكارست الجيرية.



شكل (٣-٢) خط تقسيم مياه يفصل بين حوضين

٢- الوادى النهرى River Valley:

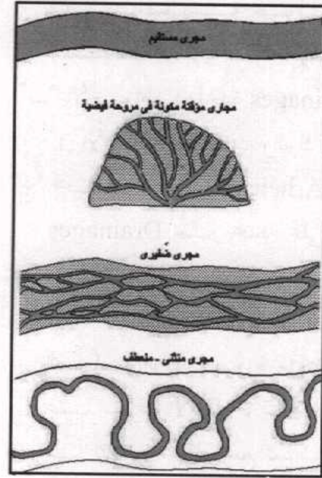
هو المنخفض الطولى الذى تجرى فــيه الحمولة النهرية ، ويشغل مجرى النهر جــزءاً صــغيراً من واديه ، أى أن الوادى مصطلح أكثر شمولاً من المجرى ، لأنه يضم المجــارى المائــية بالإضــافة إلى الأجزاء الصــخرية المنحدرة الواقعة على مستويات أعلى من جانبى المجرى (شكل ٣-٣) .



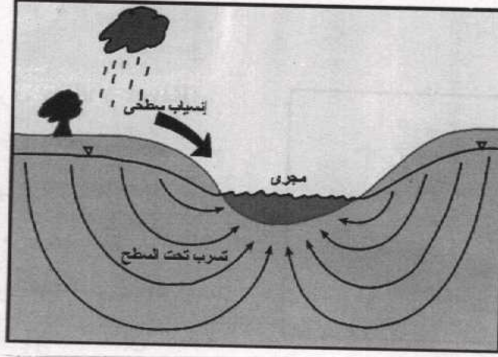
شكل (٣-٣) أبعاد المجرى النهرى

٣- المجرى النهرى River Stream:

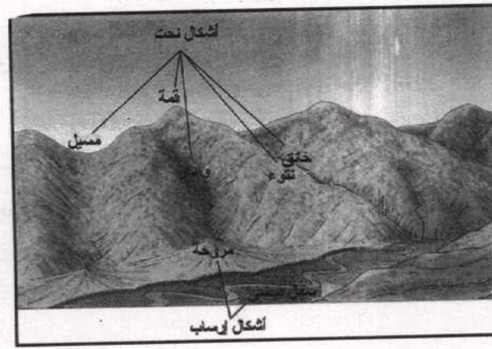
عــبارة عن القناه المائية التى تمثل الجــزء المنخفض من الوادى النهرى الذى تجرى فيه المياه من المنابع العليا نحو المصب، وتنســاب نحوه المياه إما سطحياً أوتتسرب إلــيه باطنياً (شكل٣-٤)، وقد يمتد المجرى مســتقيماً أو منثنــياً أو ضفيرياً أى يتفرع لعدة قنوات مائية تفصل بينها مجموعة من الجزر (أشكال من ٣-٤ إلى ٣-٦).



شكل (٣-٤) أنماط المجارى المائية
وفقا لتعرجها وإنثنائها



شكل (٣-٥) تسرب المياه سطحياً وباطنياً نحو المجارى المائية



شكل (٣-٦) بعض أجزاء النظام النهرى

٤- شبكة التصريف المائى Drainage Network :

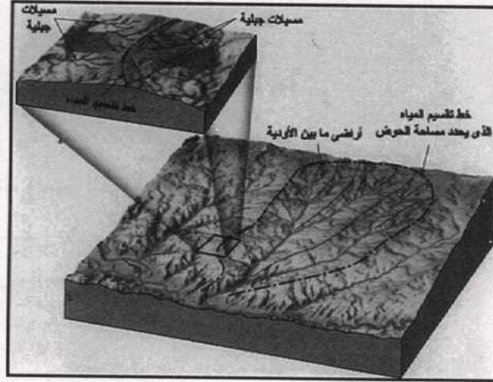
يُـــطلق عـــلى مجموعة القنوات المائية للنهر تعبير شبكة النهر River Network ، وتختلف أشكال الشبكات النهرية تبعا للظروف الجيولوجية ، وحجم وموسمية الأمطار الساقطة ، ودرجة الإنحـــدار الأصلى لسطح الأرض ، إلى جانب نوع الغطاء النباتى بالإقليم ، وهو ما نطلق عليه مصطلح نمط التصريف Drainage Pattern (شكل ٣-٧).



شكل (٣-٧) شبكة تصريف المياه

٥- أراضى مابين الأودية Interfluve :

يـــُطلق هـــذا المصطلح على الأراضى المرتفعة المنسوب المحصورة بمقاسم المياه وتدخل ضمن حــوض التصريف فيما بين الأودية ، وهى تتسم عادة بتضرسها ووعورتها ، وتنساب المياه نحو الوديان عند سقوط الأمطار عليها ، أو إنصهار الجليد الذى يغطى قممها (شكل ٣-٨) .



شكل (٣-٨) عناصر النظام النهرى

(ج) دور الأنهار فى تشكيل سطح الأرض :

تقوم الأنهار الجارية بدور كبير فى تشكيل سطح الأرض من حيث نحت سطح الأرض وحفـــر الأودية وتعميقها و توسيعها وهذا فى الواقع هو الخطوة الأولى فى عمل التعرية النهرية ، الـــتى ستليها خطوات أخرى تتمثل فى نقل الرواسب التى تُمكن النهر من نحتها ثم أخيراً عملية الإرساب ، وتتوقف التعرية النهرية فى شدتها على عدد من العوامل هى :

١- وفــرة الرواسب المفككة فكما زادت الرواسب كانت طاقة المياه أقوى فى عملية النحت ، إضافة إلى نوعية الرواسب وأحجامها ومدى قابليتها للذوبان فى المياه .

٢- كمــية المياه وسرعة جريانها التى تتوقف على درجة إنحدار المجرى ودرجة وعورة القاع .

٣- شكل المقطع العرضى للقناة المائية وتأثيره فى مدى إحتكاك الحمولة المائية بجوانب وقاع المجرى.

٤- طبــيعة صــخور القـــاع فكلما كانت الصخور لينة كانت أسرع فى الإزالة من الصــخور الصلبة ، إضافة إلى درجة نفاذية ومسامية صخور القاع ، التى تحدد مدى قابلية صخور القاع لتسريب المياه خلالها .

٥- الظروف المناخية وخاصة درجة الحرارة ونسبة التبخر .

٦- نوع وكثافة الغطاء النباتى .

والتعرية النهرية أما أن تتم بطريقة ميكانيكية بأن تهشم الصخور وتقوم بسحقها إلى كتل وحصــوات أصــغر حجماً ، أو تكون بطريقة كيميائية بأن تذيب بعض مكونات الصخر ثم تحمــلها ذائــبة فى المياه . ونتيجة لهذا العامل تستطيع الأنهار أن تشق أوديتها الواسعة والعميقة وســط الجــبال العتــيدة ، ومع مرور الزمن تتغير معالم المناطق الجبلية تماماً، إذ تتحول الجبال الشاهقة إلى هضاب مستوية السطح ، كما تصبح السلاسل الجبلية الطولية عبارة عن هضيبات مــتقطعة ، تفصلها بعض الروافد العليا للأنهار ، ولذلك تعد الأنهار من أكبر العوامل التى تسهم فى تسوية سطح الأرض وتخفيض مناسيبها (صورة ٣-٢).



صورة (٣-٢) مظاهر التعميق الرأسي القديم لنهر العاصي (بسوريا) — ويلاحظ أن مقطعه العرضي غير متوائم مع كمية حمولته الشحيحة خلال الوقت الراهن (تصوير المؤلف في يوليو ٢٠٠٢)

ثانياً : الوادي النهري :

(أ) تعريف الوادي Valley :

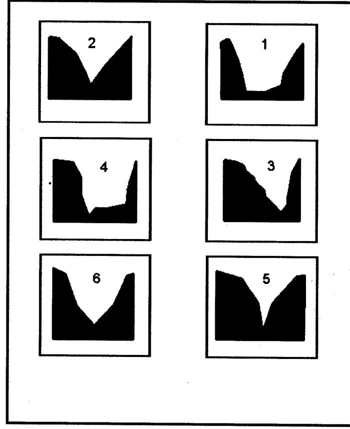
الوادي مصطلح طبوغرافي يُطلق على أشكال من التضاريس السلبية تختلف أحجامها ، تمكنت الأنهار من حفرها ، وقد تكون هذه الأنهار دائمة الجريان ، أو موسمية، أو كانت تجري بالمياه خلال فترات مناخية سالفة، وقد تدين بعض الأودية في وجودها للحركات التكتونية أكثر من التعرية النهرية ، مثل "وادي الموت Death "Valley ووادي "كاليفورنيا العظيم" ، ووادي "شيلي" ، ووادي "الأردن" وغيرها .

وتُعرف الأودية بأسماء عديدة مثل الفج والشق والمسيل والتجويف والسيل والخور والخانق والأخدود والوهاد ، وهي مجرد أشكال لمنخفضات طولية تمكنت المياه الجارية من حفرها ، ولكن يخلط البعض بين الأودية والأنهار ويستخدمونهما على أنهما مترادفين، فقد يكتب البعض

عـــن الأنهـــار الفتية (الشابة) والناضجة والهرمة ، ولكنها فى الحقيقة الوديان الفتية والناضجة والهـــرمة. فمن الجائز أننا نرى نهراً هرماً فى واد فتى ، أو العكس لأن الفتوة (الشباب) والنضج والهـــرم (الشيخوخة) ، تعد كمصطلحات زمنية تدل على الفترة الجيومورفولوجية التى قطعها الوادى من دورته التحاتية (ثورنبرى ، ١٩٧٥).

(ب) المقطع العرضى للوادى Cross Profile :

يُعـــد المقطع العرضى للوادى من أهم أساليب تحليل الخرائط الكنتورية التى تجرى للأودية ، وهو يلقى الضوء على المرحلة التى قطعها الوادى من دورته الجيومورفولوجية ، كما يبين مدى بلـــوغ الـــوادى لمرحلة الإستقرار والتوازن بين عمليات النحت والإرساب، ويوضح أيضاً آثار العوامـــل الجيولوجية والمناخية على الوادى ، ومدى إستقرار مستوى القاعدة ، ويمكن إستقراء قـــدر وافر من المعلومات الجيولوجية والمناخية والجيومورفولوجية من دراسة خصائص المقطع العرضى للوادى ، ومن بينها ما يلى (شكل ٣-٩) :



شكل (٣-٩) بعض أشكال المقاطع العرضية للأودية

رقم المقطع	المدلول الجيومورفولوجى للمقطع العرضى
١	مقطع على شكل حرف U غير متماثل لتباين صلابة صخور جانبيه
٢	مقطع عرضى على شكل حرف V شبه متماثل
٣	مقطع على شكل حرف V غير متماثل لتباين صلابة صخور جانبيه
٤	مقطع لوادى غير متوائم مع حمولته الحالية الشحيحة نتيجة التغيرات المناخية
٥	V in Vوادى فى مرحلة الشباب تعرض لإنخفاض مستوى القاعدة
٦	V in Uوادى فى مرحلة الشيخوخة تعرض لإنخفاض مستوى القاعدة

١ – أودية متماثلة Symmetric Valleys :

تظهـــر المقاطع العرضية لهذا النوع من الأودية بصورة متناسقة بين جانبيها فى أجزاء الأودية المستقيمة ، وخاصة التى تتسم بتشابه الظروف الجيولوجية على جانبيها سواء من حيث صلابة التكوينات الصخرية أو بنيتها الجيولوجية أو الظروف المناخية ، وخاصة الحرارة والرطوبة الجوية ومعدلات التساقط ، أو أنماط الغطاء النباتى كماً ونوعاً.

٢ – أودية غير متماثلة Asymmetric Valleys:

يعكـــس المقطع العرضى غير المتماثل تأثير الظروف الجيولوجية والهيدرولوجية للوادى النهرى ، حيـــث يظهر جانبى هذا النوع من الأودية غير متناسقين ، فيبدو أحدهما هين الإنحدار ، بينما يشـــتد إنحـــدار الجانـــب الآخـــر ، وهناك العديد من الأسباب التى تؤدى لتكوين هذا المظهر الجيومورفولوجى أهمها ما يلى :

"أ" المقطـــع العرضى للنهر عند المُنعطفات النهرية River Meanders حيث يشتد إنحـــدار الجانب المقعر للمُنعطف نظراً لتعرضه لقوى النحت والتقويض الجانبى ، أما الجانب المحدب فيبدو هين الإنحدار بتأثير عمليات الترسيب، وتتكون فى هذا الجانـــب القطوع النهرية Slip-off Slope والحواجز الرسوبية Point Bar Deposits .

"ب" إختلاف التكوين الجيولوجى بين جانبى الوادى ، حيث يقترن الجانب الشديد الإنحدار مع التكوينات الصلبة ، نظراً لصعوبة تأثرها بالنحت والتوسيع الجانبى ، ويقـــترن الجانـــب الهـــين الإنحدار مع التكوينات الهينة فيسهل نحتها وتهذيب منحدراتها .

"ج" تـــُحفر بعض الأودية فى طبقات أفقية متعاقبة من الصخور صلبة وصخور لينة، فتعمل على تشكيل مصاطب بنيوية ، قد تتكون على أحد جوانب الوادى دون الجانب الآخر فتكسب مقطعه العرضى مظهراً غير متماثلاً.

"د" الأوديـــة الـــتى تتفق محاورها مع خطوط الإنكسار ، فيبدو الجانب الهابط أقل إرتفاعـــاً وألطـــف إنحداراً، أما الجانب المرفوع فيبدو عادة أعلى إرتفاعاً وأشد إنحـــدارا ، وينتمى لهذا النوع من الأودية العديد من المجارى الإنكسارية النشأة لبعض أودية شبه جزيرة سيناء التى تصب فى خليج "العقبة" مثل وادى "قُصيب" وبعض أجزاء وادى "دهب" .

"هـــ" وجود عدد من المساقط المائية المتدفقة من مجموعة من الروافد تتركز على أحد جوانب الوادى دون الجانب الآخر ، مما يسهم فى شدة إنحدار هذا الجانب بينما يبدو الجانب الآخر هين الإنحدار.

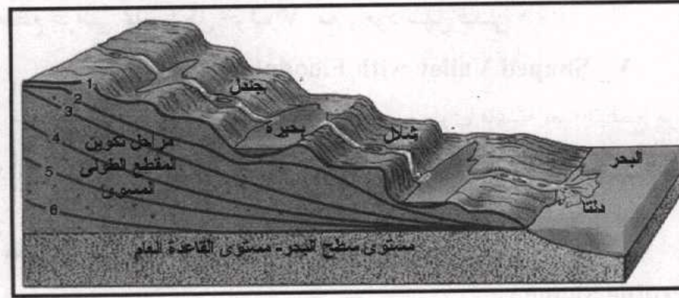
"و" قـــد يظهـــر عدم التناسق فى المقطع العرضى لبعض الأودية نتيجة الإختلاف فى الظروف المناخية على جانبيه ، التى تؤدى إلى سرعة تجوية أحد جوانبه مما يسرع مـــن تآكلـــه وتعرض سفوحه للإنهيال والتساقط ، فيشتد إنحداره مقارنةً بجانبه الآخـــر . كمـــا أن السفوح الجنوبية (فى نصف الكرة الشمالى) تصلها أشعة الشمس بقدر أكبر من السفوح الشمالية ، ممايؤثر على معدلات التبخر، وتحديد خـــط الثلج الدائم ، ونوع وكثافة الغطاء النباتى ، وعلى ذلك تختلف الظروف الجيومورفولوجية على جانبى الوادى فيتباين مظهرهما الأرضى .

"ح" عـــند هـــبوب الرياح الدائمة بصورة عمودية على توجيه المجرى ، تعمل على شـــدة الـــتقويض الينبوعى على الجانب الآخر مما يسهم فى شدة إنحداره نسبيا قياســـا بالجانب الآخر ، ولعل مجرى وادى النيل يتأثر بهذه الظاهره نظراً لهبوب

الـــرياح الغربـــية والشـــمالية الغربـــية معظم فترات السنة، مما أدى إلى شدة إنحداربعـــض أجزاء جانبه الأيمن (الشرقى) قياساً بجانبه الأيسر (الغربى). وقد أطلـــق (Emery, 1947) عـــند دراســـته لأوديـــة منطقة "سان دييجو" فى كاليفورنيا تعبير عدم تماثل موجب Positive Asymmetry على الأودية التى تشتد درجة إنحدار جوانبها اليسرى ، وأطلق تعبير عدم تماثل سلبى Negative Asymmetry على الأودية التى تشتد درجة إنحدار جوانبها اليمنى .

٣- قطاع متوازن Profile of Equilibrium :

يعـــد الباحثون فى علم الهيدرولوجيا الفرنسيين والإيطاليين أول من أقترحوا هذا المصطلح فى أوائـــل القرن التاسع عشر ، وهو يدل على المقاطع الطولية لمجارى الأودية التى تمكنت من تهذيب قيعانها وإزالة الأجزاء البارزة بالنحت وحشو الحُفر الغائرة بالترسيب ، وعندئذ تتعادل قـــوى النحـــت مع قوى الإرساب ، ويصبح المقطع الطولى مســـوّى ، ويـــُطلق عليه تعبير قطاع متعادل (شكل ٣-١٠) .



شكل (٣-١٠) مراحل تكوين المقطع الطولى المتوازن

٤- مقطع عرضى على شكل حرف V V_ Shaped Valley :

يظهر المقطع العرضى للأودية التى لازالت فى مرحلة الشباب بصورة مشابهة لحرف V اللاتينى ، حيــث تشــتد درجة إنحدار جانبى الوادى ويضيق قاعه ، نتيجة تأثره بعمليات التعميق الرأسى الناتجة عن سرعة جريان المياه محملة بالكتل الصخرية والحصى والحصباء .

٥- مقطع عرضى على شكل حرف U U_Shaped Valley :

تــبدو المقطــع العرضية للأودية التى بلغت مرحلة النضج مشابهة لحرف U ، حيث يتأثر النهر بقــوى النحـــت التى تسهم فى توسيع جانبيه بالتقويض الجانبى ، وقوى الإرساب المسئولة عن إطمــاء القـــاع والترسيب على الجوانب المحدبة للثنيات النهرية ، ولكن مع بلوغ النهر لمرحلة الشيخوخة يصبح النهر هرماً ، وعندئذ تضعف طاقته النهرية فلا يستطع حمل الرواسب المنقوله ضـــمن حمولته المائية فتترسب على القاع، وكما تنشط عمليات الترسيب على الجوانب المحدبة للثنيات النهرية ولايقوى كثيرا على عمليات التقويض على الجوانب المقعرة لهذه الثنيات، فيظهر المقطع العرضى أكثر ضحوله من مظهره فى مرحلة النضج.

٦-مقطع عرضى على شكل حرف V مع وجود سهل فيضى :

V_ Shaped Valley with Floodplain :

يظهر شكل هذا المقطع نتيجة تأثر الوادى بإنخفاض مستوى قاعدته بعد أن قطع مرحلة متقدمة فى دورته التحاتية ، التى نجح خلالها فى بناء سهله الفيضى المتسع.

٧- مقطع عرضى على شكل حرف V داخل حرف U :

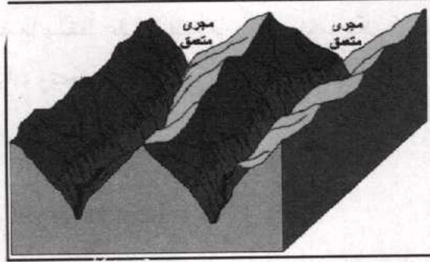
V in U Profile Shape :

يشـــبه هذا المقطع النمط السابق فهو يدل على تأثر الوادى بإنخفاض مستوى قاعدته بعد بلوغه لمرحلة الشيخوخة .

٨- مقطع عرضى على شكل حرف V داخل حرف V :

V in V Profile Shape :

يشير هذا المقطع العرضى إلى تأثر الوادى بإنخفاض مستوى قاعدته وهو مازال مرحلة الشباب ، نظراً لظهور المقطع الأصلى أى العلوى على شكل حرف V، ثم عاود الوادى تعميق مجراه رأسياً ليصل لمستوى القاعدة المنخفض (شكل ٣-١١) .



شكل (٣-١١) مجسم لمعاودة التعميق الرأسى لنهر فى مرحلة الشباب إنخفض مستوى قاعدته

(ج) بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التى تظهر على المقطع العرضى للوادى:

١- المدرجات النهرية المزدوجة (التوأمية) الناتجة عن إنخفاض مستوى القاعدة .

٢- المصاطب الصخرية الناتجة عن تتابع الطبقات الأفقية الصلبة واللينة .

٣- المُنعطفات النهرية الهرمة ذات الإنحدارات الجانبية الغير متماثلة ، والأشكال المرتبطة بها مثل السفوح التى تتقوض عندها القطوع النهرية والحواجز الرسوبية.

٤- مُنعطفات الشباب التى تتشكل فى الصخور وتتميز بتماثل إنحدار جوانبها.

٥- الجنادل والجزر الصخرية التى تعترض المجرى .

٦- الخوانق النهرية .
٧- الجُزر الرسوبية والضحاضيح .
٨- الحُفر الوعائية الناتجة عن الحركة الدوامية للمياه بما تحمله من كتل صخرية وحصوات.
٩- أودية الأغوار الصدعية (الإنكسارية) Rift Valley -Rift Troughs .
١٠- التقويض الجانبى .

(د) خصائص الوادى النهرى:

يـُعـرف الـوادى النهرى بأنه نطاق طولى منخفض من سطح الأرض قام بحفره نهر تجمعت مياهه بواسطة ما يسقط على المنطقة من أمطار، وما يمكن أن تمده الثلاجات المجاورة أو المـياه الجوفية من مياه، وتتحدد قوة النهر وقدرته على الفعل التحاتى تبعاً لمجموعة من العوامل نوجزها فيما يلى :

١- الفارق الرأسى Vertical Interval:

يـُطلق تعـبير الفارق الرأسى على متوسط الفارق بين مناسيب المنابع العليا للنهر ومنسوب مصبه، ويدل الفارق الكبير بين المنسوبين على شدة وقوة النهر ، ويتوقف هذا الفارق على مدى إرتفـاع المـنابع العليا من ناحية ومنسوب المصب من ناحية أخرى ، ويـُطلق تعبير مستوى القـاعدة عـلى المنسوب الذى تتوقف عنده عملية التعميق الرأسى للوادى ، وهو ينقسم إلى نوعين هما :

"أ" **مسـتوى القاعدة العام General Base Level** : يـُطلق هذا المصطلح على مصبات الأنهار حينما تنتهى فى البحار والمحيطات المفتوحة ومنسوبه يساوى صفر .

"ب" **مستويات القاعدة المحلية Local Base Levels**: يـُطلق هذا المسمى على مصـبات الأنهار التى تنتهى داخل اليابس فى الأحواض الداخلية أو البحيرات أو

البحار المغلقة ، وقد يكون منسوب هذه الأحواض الداخلية أعلى من منسوب سطح البحر وقد يكون منخفضا عنه، والأمثلة على ذلك كثيرة، ففى وطننا العربى أمثلة من هذا النمط من مستويات القاعدة ، فالبحر الميت على سبيل المثال يعتبر مستوى لنهر الأردن وروافده ، وهو على منسوب حوالى ٤٠٠ مترا أدنى من مستوى سطح البحر العام، وكذلك منخفضات الصحراء الغربية لمصر مثل القطارة والفيوم والخارجة والداخلة والفرافرة ، ولا شك أن هذه المناسيب تؤثر على عمليتى النحت والإرساب التى تقوم بها الأنهار والأودية التى تنتهى عندها ولا ترتبط الظاهرات الجيومورفولوجية الناتجة عن هاتين العمليتين بمستوى القاعدة العام .

"ج" وهناك حالات أخرى لمستويات القاعدة المحلية منها : وجود بعض البحيرات على المجارى النهرية ، فمثل هذه البحيرات تعتبر مستوى قاعدة للجزء من النهر الذى ينتهى إليه ، كما تعتبر فى الوقت نفسه مصدر مياه للجزء من النهر الذى يخرج منها ، ويتحكم منسوب هذه البحيرة فى عمليات التعرية التى تقوم بها كل الروافد التى تصب فيها . كما أن المجرى الرئيسى للنهر يعتبر مستوى قاعدة محلى بالنسبة للروافد التى تنتهى أو تصب فيه ، كما أن بعض العقبات والعوائق التى تضعف سرعة جريان مياه النهر ، وتؤثر بالتالى على طاقته النهرية وتقلل من عملياته التحاتية ، أى إنها تتحكم فى هذا المقطع من النهر ، وتعد كمستوى قاعدة محلى له، وقد تكون هذه العقبات طبيعية مثل الجنادل ، أو تراكم الكتل الصخرية المتساقطة من جوانب الخوانق النهرية التى لا يستطيع النهر دفعها أو دحرجتها فى إتجاه المصب ، أو تراكم كميات كبيرة من جذوع الأشجار وتشابكها معاً ، وإنحباسها المؤقت فى أحد مقاطع المجرى الضيقة ، وبذلك قد تعمل على حجز المياه فى هذا المقطع من المجرى فيرتفع منسوبها ، وتكون بحيرة

صـــغيرة تنســـكب مياهها المتجمعة من فوق تلك العقبات ، ولذلك فهى تعتبر مستويات قاعدة مؤقتة لروافد النهر الأعلى منها منسوباً (شكل ٣-١٢).



شكل (٣-١٢) تكوين بحيرة نهرية تعتبر كمستوى قاعدة محلى للروافد التي تعلوها

وتفـيد دراســة مستويات القاعدة فى قياس الفارق الرأسى بين منسوب النهر ومستوى مصبه، وتأثير هذا الفارق على عمليتى النحت والإرساب، ولكن يجب أن نشير هنا انه بالإضافة إلى هذا الفارق الرأسى هناك أيضاً المسافة الأفقية التى يقطعها النهر من منابعه حتى مصبه، ذلك لأن درجـــة إنحدار الأرض التى تؤثر على سرعة جريان النهر وعلى قوته ومقدرته على النحت والحمل هى عبارة عن العلاقة بين الفارق الرأسى والمسافة الأفقية[١].

٢- نوع الصخر ونظامه :

تـتوقف مدى قدرة النهر على نوع الصخرالذى يؤثر على الخصائص الجيومورفولوجية للوادي الـنهرى ســواء أكـان هذا التأثير على النهر نفسه ممثلا فى قطاعه الطولى Longitudinal Profile ، أو على الوادى ممثلا فى قطاعه العرضى Cross Profile، وتنعكس هذه الصخور فى مظاهـر جيومورفولوجية تتوقف على طبيعة أو نوع الصخر ، ثم على نظام هذا الصخر فى المـنطقة الـتى يشق فيها النهر واديه. وبصورة عامة فإن من أوضح الظاهرات التى تعكس أثر

[١] ظـل درجـة إنحدار المقطع الطولى للنهر = ناتج قسمة الفاصل الرأسى على المسافة الأفقية أى متوسط طول المجرى النهرى .

الصخر نوعاً ونظاماً على طول الوادى النهرى هى ظاهرات الإنزلاقات الأرضية التى تتسبب عن وجود طبقات صخرية مسامية متتابعة على طبقة طينية بشرط أن يرتكز هذا التتابع فوق طبقات صـــخرية صـــماء مائلـــة فى إتجاه المنحدر [1]، وكذلك ظاهرات المصاطب الصخرية Rock Benches على جانبى الأودية النهرية ، أو ظاهرات نقاط التحديد الصخرية Lithological Knick-Points على قيعان المجارى النهرية .

كمـــا يـــتوقف التعميق الرأسى للمجرى وتوسيع قنواته المائية على مدى صلابة الصخور الأولـــية للمنطقة التى يشقها ، ومدى تأثرها بالتركيب البنائية Geological Structure مثل الإنكســـارات والإلتواءات ونظم الفواصل الصخرية ، فهناك الكثير من الأنهار تتفق مجاريها مع محـــاور الإلـــتواءات المحدبة ، لأنه من المعلوم أن أضعف أجزاء الإلتواءات المحدبة هى محاورها ، بســـبب تعرضها لقوى الشد والطى ، كما أن خطوط الإنكسار تُسهم فى توجيه المجارى المائية وتحـــدد أنماط التصريف المائى ، أما إختلاف أنواع الصخور فى قاع المجرى النهرى فله دوره فى عـــدم انتظام المقطع الطولى للمجرى النهرى ، فالمجارى النهرية التى تقطع صخوراً صلبة تكون أشـــد إنحـــداراً مـــن تلك المخترقة صخورا لينة (ضعيفة)، وهذا التتابع فى شدة الإنحدار وقلته (ضعفه) على المجرى النهرى من شأنه أن يجعل الأجزاء الهينة الإنحدار بمثابة مستويات قاعدة محلية لأجزاء المجارى الشديدة الإنحدار الواقعة على مناسيب أعلى منها .

٣- عامل الزمن Time:

يـــُقصد بعامل الزمن الفترة الزمنية التى يصل خلالها مستوى سطح البحر فى منسوب معين يســـمح للنهر أن يعمق واديه ويصل إلى مرحلة يكون فيها قادرا على عمليات النحت الجانبى وبناء سهله الفيضى، حتى يصل فيها إلى مرحلة التوازن أو التعادل State of Equilibrium ، وهـــذه مـــرحلة يصل إليها النهر عندما يسوى Grade قطاعه الطولى ، ويمحى ما عليه من تغـــيرات فى درجات إنحداره سواء أكانت هذه العملية بواسطة نحت Degradation الأجزاء

[1] راجع موضوع الإنزلاقات الأرضية بالفصل الأول .

الـــبارزة من القاع ، أو بواسطة الإرساب **Aggradation** على الأجزاء العميقة من المقطع ، وتعـــرف هذه المرحلة بأنها المرحلة التي تتعادل فيها عملية النحت مع عملية الإرساب ، ولكن لـــيس معـــناها بأى حال من الأحوال أن النهر أصبح فى مرحلة التوازن غير قادر على عمليتى النحت والإرساب، وتستمر مرحلة التعادل ما لم يتعرض النهر لإحدى الحالاتين الآتيتين :

الحالة الأولى : إنخفاض مستوى القاعدة الذى يجبر النهر على معاودة التعميق الرأسى ومحاولـــة وصـــوله لمستوى القاعدة الجديد المتقهقر ، ولذلك فهو يجنح للنحت على حساب عمليات الإرساب.

الحالـــة الثانـــية : هـــى تعرض حوض النهر لحركة رفع تكتونية تؤدى هى الأخرى لتنشـــيط عملية التعميق الرأسى وتكوين خوانق نهرية عميقة ليحاول بها النهر مقاومة عمليات الرفع التى أخلت بحالة التوازن ، ويطلق على هذه العملية اسم النضال النهرى (كما سيأتى شرحها لاحقاً).

ثالثاً : المجرى النهرى River Stream :

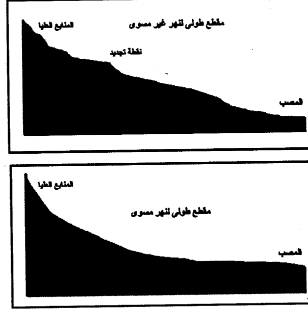
(أ) تعريف المجرى النهرى:

المجـــرى الـــنهرى عبارة عن منخفض طولى مُحدد الجوانب تجرى به المياه من المناطق المرتفعة المنســـوب إلى الأجزاء الأخفض منها بتأثير الجاذبية الأرضية ، وتتعدد أشكال المقاطع العرضية للمجارى النهرية ، فمنها ما هو أقرب لشكل المثلث ، أو المستطيل ، أو شبه الدائرى ، كما أن مســـتوى المـــياه فى المجرى يتباين من فصل لآخر تبعا للمصادر المائية المغذية للنهر ، بالإضافة لمعدلات التبخر .

(ب) المقطع الطولى للمجرى Stream Longitudinal Profile:

يـــُعد المقطـــع الطولى للنهر أحد الأساليب الكارتوجرافية التى تعبر عن مدى قوة النهر وقدرتـــه عـــلى التعميق الرأسى ، وهو عبارة عن خط مقوس يمثل درجة إنحدار قاع النهر من

مـــنابعه العليا وحتى مصبه ، وهو يدل على العلاقة بين الفارق الرأسى للمجرى وطول مسافته الأرضـــية ، ويتم إنشاءه باستخدام خريطة كنتورية تغطى المجرى الرئيسى للنهر وجميع روافده ، ويفيد هذا النوع من المقاطع فى تحديد المرحلة التى قطعها النهر من مراحل دورته التحاتية ، كما تظهـــر علـــيه مواضـــع ومناسيب نقط التغير فى الإنحدار الطولى للنهر على إختلاف مسبباتها، وخاصـــة نقط القطع الصخرية الناتجة عن صلابة بعض أجزاء القاع ، ونقط التجديد التركيبية Structural Knick Points الـــناتجة عـــن إختراق المجرى لخط انكسار يتقاطع مع توجيهه العام، ونقط تجديد شباب النهر الناتجة إنخفاض مستوى القاعدة أو تغير كميات الأمطار الساقطة على الإقليم (شكل ٣-١٣).



شكل (٣-١٣) تطور المقطع الطولى للمجرى

(ج) الحمولة النهرية River Load:

تـُعرف حمولة النهر بكمية المياه المنقولة فى المجرى النهرى ، بالإضافة إلى كل أشكال المواد الصلبة والعضوية والذائبة المنقولة مع المياه نحو المصب ، وتنقسم الحمولة النهرية إلى ثلاثة أنواع رئيسية هى:

١–حمولة الدفع أو الجـــرّ Attrition:

وهـــى عـــبارة عن الكتل والجلاميد الصخرية الكبيرة الحجم التى لا تستطيع مياه النهر حمـــلها، وتـــتحرك هذه الحمولة أما بواسطة الزحف Sliding أو بواسطة الدحرجة Rolling أو بواسطة القفز Jumping Salutation على القاع، وتزداد نسبة المواد المنقولة بهذا الاسلوب كلما كان المجرى سريع الجريان ، مما يساعد على زيادة مقدرته على النقل .

وتعمــــل الحمولة المدفوعة على سرعة تآكل وتهذيب الكتل الصخرية المنقولة على القاع ، فمع إستمرار حركة دفع المياه مع إرتطام الكتل الصخرية بقاع المجرى النهرى ، وإصطدامها ببعضها فإنها تتكسر وتأخذ فى الاستدارة مكونة الحصى "الزلط" النهرى الأملس ، ويمثل هذا الحصى النهرى الأجزاء المتبقية من نحت الكتل الصخرية الكبيرة ، أما بقية الكتل الصخرية فإنها عادة ما تتحول ميكانيكياً وكيميائياً إلى النوعين الآخرين مــن الحمولة النهرية وهما: الحمولة العالقة Suspended Load و الحمولة الكيميائية الذائبـــة Chemical Solution Load ، وتعتـــبر حمولة الدفع (الجر) أهم أنواع الحمولة النهرية التى تساعد فى تكوين وتوسيع الحُفر الوعائية والتحامها مع بعض ، مما يسهم فى تعميق المجرى ، وبالتالى مساعدة النهر على اقتراب منسوب صفحة مياهه من مستوى قاعدته .

٢-الحمولة العالقة Suspension :

يتكون هذا النوع من الحمولة النهرية من مواد دقيقة الحجم تعلق وتختلط بمياه النهر ولا تذوب فيها ، وتنقل عائمة فيما بين سطح المياه والقاع ، وحينما تضعف طاقة المجرى عـلى الحمل تترسب هذه المواد الناعمة لتكون ما يعرف بالغرين Silt ، ويتم ترسيبها عـادة على السهل الفيضى المتاخم لجانبى المجرى النهرى ، أو قد تتراكم فوق الجسور الطبيعية Natural Leveé حينما تفيض مياه النهر وتغمر ضفتيه أثناء فترات الفيضان، كمـا أنها قـد تترسب على الضفاف المحدبة للثنيات النهرية Meanders ، وعند مقدمـات الجزر الرسوبية التى تتكون فى المجارى الضفيرية Braided Streams، وفى المواضـع التى تتعرض مائية النهر للتبخر الشديد أو التسرب على القاع بدرجة تفوق وفـرة المياه بالمجرى ، أو عند أجزاء المجرى الهينة الإنحدار ، وبصفة عامة تترسب المواد العالقة حيثما تضعف مقدرة النهر على النقل .

٣-الحمولة المُذابة Solution :

عـبارة عن العناصر المذابة أو المتحللة كيميائياً وتصبح ضمن التركيب الكيميائى لمياه الـنهر ، وتـتعدد مصادر المواد المذابة فقد تكون عضوية نتيجة تحلل النباتات وبقايا الحـيوانات ، أو ناتجـة عن تحلل بعض معادن الصخر فى مياه النهر مثل الكالسيت ، وعـادة ما تكون مياه أنهار المناطق الحارة أو المعتدلة الدفيئة أغنى فى حمولتها الكيميائية مـن أنهـار المناطق الباردة ، وعندما تترسب هذه الحمولة المشبعة بالمواد المذابة تكون قـادرة عـلى المساهمة فى عملية تلاحم الفتات الصخرى Cementation وتماسكه وتكـون الأرصـفة الصـخرية أو صـخور المجمعـات الكـروية "كونجلوميرات" . Conglomerates

(د) العوامل المؤثرة فى سرعة جريان المياه فى مجارى الأنهار:

تتوقف سرعة جريان النهر على كثير من العوامل أهمها مايلى :

١- درجة الإنحدار الطولى للمجرى ومن المعروف أن معظم الأنهار تنبع في أقاليم جبلية أو مناطق مرتفعة ، لأنها أكثر جهات الأرض مطراً أو ذوباناً للجليد.

٢- كمية المياه التى تتعرض للتبخر ، وهذا العامل يتحدد وفقا لعدد من الضوابط ، أهمها درجـــة حرارة الجو ونسبة الرطوبة الجوية ، بالإضافة إلى مدى إتساع المجرى المائى ، فكلما كان المقطع المائى عريضا كلما إرتفعت نسبة تبخر مياهه.

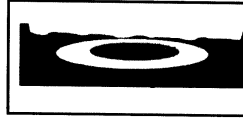
٣- كمـــية المـــياه الـــتى تتعرض للتسرب من قاع المجرى تبعا لطبيعة التركيب الصخرى ودرجة تأثره بنظم الشقوق والفواصل .

٤- نســـبة تعرجات المجرى أو درجة استقامته ، فكلما كان النهر مستقيما تزداد سرعة جريانه بسبب قلة احتكاك حمولته النهرية بجوانب المجرى.

٥- درجـــة وعورة وتضرس القاع ، فالوعورة تعوق تدفق المياه بسرعة بسبب احتكاك الحمولة النهرية ببروزات القاع.

٦- شكل المقطع المائى ومن المعلوم أن المقاطع القريبة من الشكل الدائرى هى أقل المجارى المائية تعرضا للإحتكاك وبالتالى تزداد سرعة التدفق .

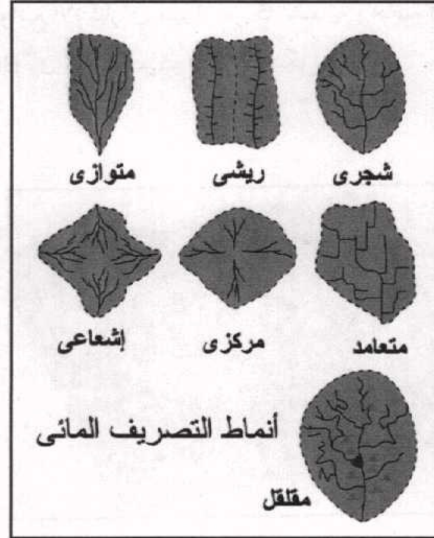
٧- طبـــيعة الحمولـــة النهرية ونوع وحجم الرواسب المنقولة فى المجرى ، فبالطبع المواد الخشـــنة تستهلك فى نقلها قدرا أكبر من طاقة النهر، كما أن زيادة نسبة المواد الصلبة فى الحمولة يعمل على زيادة الاحتكاك الداخى بين مكونات الحمولة، أى التصادم بين الحبيبات والحصوات المنقولة فى المجرى فتقلل من سرعة الجريان (شكل ٣-١٤).



شكل (٣-١٤) تأثير إحتكاك الحمولة النهرية بالقناة المائية على سرعة الجريان

رابعاً : أنماط التصريف المائى Drainage Patterns:

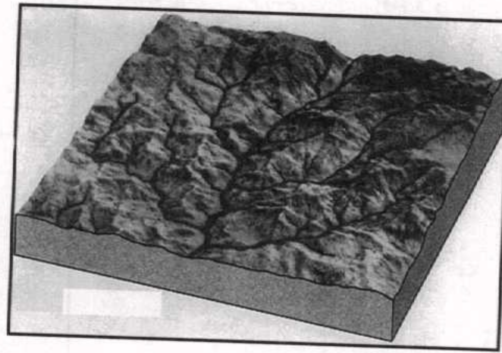
يقصــد بأنماط التصريف المائى الشكل الذى تتخذه شبكات التصريف المائى ، من حيث زوايـا إلتقاء الروافد بعضها ببعض ، وتوجيهها ، والمسافات الفاصلة بين هذه الروافد ، حيث تظهـر الشـبكة بهـذا المظهر كمحصلة لمجموعة الظروف الجيولوجية والمناخية التى يتعرض لها الحوض ، ومن دراسة هذه الأنماط (شكل ٣-١٥) يمكن إستقراء الخصائص الطبيعية التى أدت لتكوين كل نمط منها ، وأهم أنماط التصريف المائى هى:



شكل (٣-١٥) بعض أنماط شبكات التصريف النهرى

١- التصريف الشجرى Dendritic Drainage :

تشـــبه شـــبكة تصريف هذا النمط شكل شجرة التفاح بأغصانها المتشابكة ، ويتميز بإلـــتقاء مجاريـــه بزوايا حادة ، وتتقارب روافده العليا من بعضها ، مما يعطى الشبكة شكلاً كثيفا من خطوط التصريف ، ويتسم سطح الأرض الذى يجرى عليه هذا النوع مـــن شبكات التصريف بالتجانس ، ويتكون عادة من نوع واحد من الصخور ، أو طـــبقات أفقـــية متشابه فى صلابتها ومقاومتها لعوامل التعرية ، كما يخلو السطح من التراكيـــب البنـــيوية وخاصـــة الإنكسارات والالتواءات ، وهذا النوع من شبكات التصريف واسع الانتشار فى سهول أمريكا الشمالية وخاصة فى إقليم "الأراضى الوعرة Badlands" فى ولاية "جنوب داكوتا" (شكل ٣-١٦).



شكل (٣-١٦) التصريف الشجرى

٢- التصريف المتوازى Parallel Drainage:

تتمـــيز شـــبكات تصـــريف هـــذا النمط بتوازى روافده نتيجة تأثره بأحد الحالات الجيولوجية والبيئية الآتية :

"أ" إمتداد روافده مع خطوط الإنكسارات المتوازية .

"ب" إنحدار سطح الأرض الأولى إنحداراً هيناً .

"ج" تتابع طبقات أفقية من الصخور الصلبة واللينة.

"د" شـــق الشبكة لمجاريها فوق طية وحيد الميل ، ويتفق مع هذا النمط بعض شبكات التصريف فى ولاية "كلورادو" .

"هـــ" تراجع خط الساحل خلال مراحل متعاقبة ، مثل بعض أودية الساحل الشـــمالى الغـــربى لمصر التى تأثرت بتراجع البحر المتوسط خلال عصر البلايستوسين .

٣- التصريف المتعامد (المستطيل) Rectangular Drainage:

تنـــتظم القنوات المائية لهذا النمط على شكل خطوط متعامدة ، تتلاقى روافدها بزوايا قائمـــة ، وهـــو يرتبط بالمناطق الإنكسارية التى تتعرض لنظامين متعامدين من خطوط الإنكسار ، أو نظم الفواصل الصخرية المتعامدة ، وينتشر هذا النمط فى القسم الجنوبى مـــن شـــبه جزيرة سيناء ، وشبه جزيرة "مُسندم" فى سلطنة عُمان ، وبعض فيوردات النرويج واسكتلندا.

٤- التصريف الزاوى Angular Drainage:

يتشـــابه هـــذا النمط بالتصريف المتعامد لكن روافده تتلاقى بزوايا حادة Acute Angles، أو زوايـــا مـــنفرجة Obtuse Angles ، ويصبح شكل الشبكة أقرب للشـــكل الهندسى المعروف بالمُـــعين ، ويدين هذا النمط فى مظهره لخطوط الإنكسار ونظم الفواصل المتقاطعة بزوايا حادة .

٥-التصريف المتشابك Trellis Drainage:

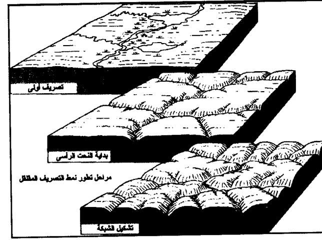
يتميز هذا النمط من أنماط التصريف بإمتداد المجرى الرئيسى مع الإنحدار العام لسطح الأرض ، أو تتبعا محور أحد الالتواءات ، وتتلاقى معه روافده بزوايا قائمة ، نتيجة تأثرها بمجموعة من الإلتواءات المتوازية ، مع تتابع الطبقات الصلبة والهينة ، ويظهر هذا النوع فى جبال "الأبلاش Appalachians "، وجبال "جورا Jura " فى فرنسا وسويسرا .

٦-التصريف الريشى Pinnate Drainage:

يمتد المجرى الرئيسى لهذا النمط عادة مع خط إنكسارى قد يكون فى أغلب الأحوال من النوع الاخدودى ، وتلتقى به روافده القصيرة بزوايا قائمة تشق مجاريها فى الجانب المرفوع للإنكسار .

٧-التصريف المقلقل Deranged Drainage :

ينتشر هذا النمط فى المناطق الحديثة جيولوجياً ، ولايرتبط بتراكيب جيولوجية معينة ، ولذلك فشبكة التصريف تكون غير ناضجة وتكثر بها البحيرات والمستنقعات ، ويتسم توجيه مجاريه بالعشوائية وعدم الانتظام ، وينتشر هذا النمط فى سهول التندرا فى "سيبريا" وشمال كندا (شكل ٣-١٧).



شكل (٣-١٧) مراحل تشكيل التصريف المقلقل

٨-التصريف الحلقى Annular Drainage :

تــتخذ شبكات التصريف أشكال أقواس من دوائر تحيط عادة بقبة صخرية تنبع منها مجموعة الروافد العليا للحوض ، وتتبع مساراتها نطاقات الضعف الجيولوجى الناجمة عن تعاقـــب الطـــبقات الصلبة واللينة ، وأبرز مثال لهذ النوع مجموعة الأنهار التى تنبع من قباب إقليم " التلال السوداء – Black Hills " بولاية جنوب "داكوتا" الأمريكية.

٩-التصريف المتشعع (الإشعاعى) Radial Drainage:

تنـــبع المجارى المائى التابعة لهذا النمط من منطقة مركزية ، وتتشعع قنواته للخارج فى جمـــيع الإتجاهـــات ، ويرتبط هذا النمط بالقباب الصخرية الحديثة البروز قبل تأثرها بعوامـــل التعرية ، حيث تنساب مياه الأمطار على سطح الأرض للخارج ، ولكن مع مرور الزمن يتحول هذا النمط إلى التصريف الحلقى بعد إنكشاف طبقات القبة المتباينة الصلابة ، وينتشر هذا النمط فى القباب الملحية Salt Domes فى بريطانيا و الولايات المتحدة.

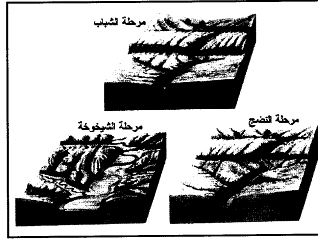
١٠-التصريف المركزى Centripetal Drainage :

تتجه خطوط التصريف المائى نحو نقطة مركزية ، أى عكس النمط السابق ، وهو يقترن عادة بالأحواض التركيبية Structural Basins ، وهو ينتشر فى المنخفضات الصحراوية المغلقة .

خامساً : الدورة الجيومورفولوجية للوادى النهرى :

فى واقع الأمر أنه ليس هناك وادى نهرى يمكن وصفه بالمثالية ، لأن من الصعب وجود الغرض نظام تصريفى يجرى من منبعه حتى مصبه فى ظروف مناخية واحدة ، وفى تكوينات جيولوجية متجانسة ، والهدف هنا مجرد التعرف على أهم الظاهرات الجيومورفولوجية المصاحبة لتطور النظم النهرية ، ودراسة كيفية تكوين النهر لواديه دون التعرض إلى ما يصادف النهر من عقبات جيولوجية أو تغيرات مناخية ، التى عادة ما يكون لها الدور الأكبر فى إختلاف المظهر الجيومورفولوجى للأنهار.

ومن هذا المنطلق يمكن تقسيم الوادى النهرى من منبعه إلى مصبه إلى قطاعات ، يتميز كل قطاع منها بسمات وخصائص جيومورفولوجية تميزه عن القطاع الآخر، ويمكن الربط بين هذا التقسيم ومراحل الدورة الجيومورفولوجية التى أقترحها "وليم موريس دافيز W.M.Davi" فى أواخر القرن التاسع عشر، بمعنى أن الأجزاء العليا من الوادى النهرى عادة ماتعبر عن خصائص النهر فى مرحلة الشباب ، وتكون الأجزاء الوسطى فى مرحلة النضج ، وتبرزالأجزاء الدنيا من النهر سمات مرحلة الشيخوخة (شكل ٣-١٨) .



شكل (٣-١٨) مراحل الدورة الجيومورفولوجية

ولكـــن مــــن عـــيوب هــــذا التقســـيم المكـــانى للــــدورة الجيومورفولوجـــية Geomorphological Cycle أنـــه تصنيف نظرى أو افتراضى لا وجود له فى الطبيعة ، لأن فى الحقـــيقة لا توجـــد أنهـــار فى الطبيعة تجرى فى نطاق مناخى واحد ، وتشق مجاريها فى ظروف جيولوجية متشابهة ، ولا شك أن هذا الإختلاف فى الظروف المناخية الذى يؤدى بدوره إلى تباين الظروف البيئية سواء فى الحياة النباتية أو الحيوانية أو البيولوجية بصفة عامة ، وكذلك فـــإن الإختلاف فى نوع الصخر ونظامه يؤثران بدرجة كبيرة على تقسيم الأنهار إلى قطاعات إفتراضـــية ، فقد تظهر فى بعض أجزاء المنابع العليا للنهر بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التى تـــدل على كهولة النهر ، بينما قد تتكون فى أجزائه الوسطى بعض ظاهرات النحت التى تشير إلى شبابه وعنفوانه ، وإضافة للعاملين السابقين ، يُفترض ثبات مستوى القاعدة الذى يصب فيه الـــنهر فترة زمنية تسمح له بالتطور خلال مراحل دورته الجيومورفولوجية ، وهذا الثبات غير واقعى فمستوى القاعدة العام فى تذبذب مستمر طوال التاريخ الجيولوجى لهذا الكوكب ، كما أن مســـتويات القـــاعدة المحلية قد تتعرض لحركات تكتونية سالبة أو موجبة ، أو تتراكب على ســـطوحها كمـــيات مـــن الرواسب تغير من مناسيبها ، وعلى الرغم من عيوب هذا التقسيم

الإفتراضى ، يمكن تقسيم الأنهار جغرافياً إلى ثلاث مراحل متتابعة تبدأ بمرحلة الفتوة والشباب عــند مــنابعها العلــيا وتنتهى بمرحلة الكهولة بالقرب من مصبالها ، وتختص كل مرحلة منها بسمات وخصائص نوجزها فيما يلى:

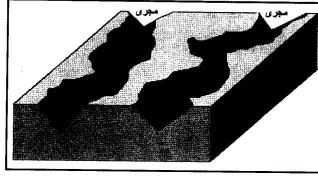
(أ) خصائص النهر فى مرحلة الفتوة والشباب (المنابع العليا) :

يتميز النهر خلال مرحلة الشباب بعدد من الخصائص تظهر بصورة جلية عند منابعه العليا ، وهى تميزه عن بقية أجزاء النهر وأهمها مايلى (شكلا ٣-١٩ ، ٣-٢٠):

١- ضــيق المقطــع العرضــى للمجرى وظهوره على شكل حرف V أى ترتفع جوانــبه ويشــتد إنحدارها مع ضيق المجرى ، وتتكون ظاهرة الخوانق النهرية فى الأجــزاء الصلبة من النهر ، وخاصة حينما يتفق توجيه المجرى مع أحد خطوط الإنكســارات أو الشــقوق أو الفواصل الطولية ، وتتميز هذه الخوانق بزيادة إرتفاع جوانب المجرى الشديد الإنحدار عن إتساع قنوالها المائية الضيقة .

٢- شــدة إنحــدار المقطــع الطولى للنهر للمنابع العليا للنهر ، وظهور نقط تجديد الشباب ، أى أن قاعه غير مسوّى ، وكقاعدة عامة نقول بأنه كلما كان النهر قصيراً ، ومنابعه مرتفعة المنسوب كان إنحداره شديداً.

٣- يحــاول الــنهر أن يشــق مجراه خلال مناطق الضعف الجيولوجى ، سواء بتتبع التكويــنات الصــخرية الضعيفة ، أو بإلتزام خطوط العيوب الصخرية مثل : الإنكسارات ، ومحاور الطيات المحدبة ، والشقوق والفواصل .



شكل (٣-١٩) خصائص النهر فى بداية تشكيل واديه

٤- سرعة الجريان حيث تكون أعالى الأنهار أشد إنحداراً وأسرع جرياناً من أجزائها الوسطى أو الدنيا ، ففى بعض الأجزاء العليا من الأنهار قد يكون الإنحدار فجائياً أو رأسياً ، فتتكون ظاهرة الشلالات ، أو مساقط المياه ، وقد تسقط المياه فيها من إرتفاع شاهق يصل لمئات الأمتار مثل شلالات "نياجرا" فى أمريكا الشمالية أو شلالات "فيكتوريا" فى "زيمبابوى" الإفريقية.

٥- يحفــر الــنهر مجراه فى المناطق الصخرية ولذلك يتكون قاع المجرى وجوانبه من الصــخور ، ولايوجــد فى هــذه المرحلة أى أثر للإرسابات الفيضية الدقيقة الحبيــبات، ويحفر النهر مجراه تعميق وتوسيع وتلاحم الحُفر الوعائية الاسطوانية الشكل ، التى تتكون فى الأجزاء الضعيفة جيولوجيا بتأثير الحركة الدوامية للمياه بما تحمله من كتل حجرية وحصى .

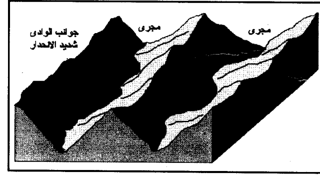
٦- يتمــيز قاع المجرى بالوعورة ولذلك تظهر على القاع مجموعة من الظاهرات من بيــنها الحُفر الوعائية التى أشرنا إليها فى الفقرة السابقة، وظاهرة الجنادل ، وهى عبارة عن أجزاء من النهر تكثر بها الصخور الناتئة فوق سطح المياه ، حيث تبدو كجزر صخرية تعترض المجرى ، وتعطل الملاحة ، وهى تتكون عادة من صخور

صــلبة تقـــاوم التأثير التحاتى لتيار مياه النهر ، ومن أمثلة الجنادل:جنادل النيل النوبى الستة، التى يــُطلق عليها خطأ اسم شلالات (الشلال الأول يقع بالقرب من مدينة أسوان).

٧- تتمـــيز خطوط تقسيم المياه بين النظم النهرية بعدم وضوحها ، وتشوشها وتبدو عريضة متسعة لاتظهر عليها فى أغلب الأحوال قمم جبلية مُدببة .

٨- تظهر بعض الثنيات النهرية فى هذه المرحلة المبكرة من عمر النهر ، إلى ألها تكون محصورة فى أودية ضيقة ، تشتد درجة إنحدارالها الجانبية ، ويــُطلق عليها اسم مُنعطفات الشباب .

٩- الــنهر فى هذه المرحلة يكون قادراً على حمل المفتتات الصخرية الكبيرة الحجم لــيقوم بنقلها نحو الجزء الأدنى من النهر ، ولذلك تتكون معظم المواد المنقولة فى الــنهر مــن كـــتل كبيرة الحجم والحصى والحصباء ، وهى تنقل فى معظمها بالدحـــرجة والقفـــز ، ومن النادر نقل المواد فى هذه المرحلة بالتعلق نظراً لكبر أحجامها .



شكل (٣-٢٠) خصائص النهر فى مرحلة الشباب

(ب) خصائص النهر فى مرحلة النضج (الأجزاء الوسطى) :

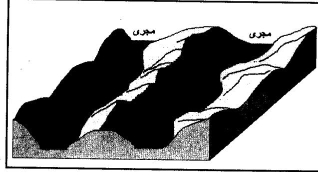
١- تـبُدى الأنهار تكيفاً ملحوظاً خلال هذه المرحلة مع ظروفها الجيولوجية، حيث تتمكن من إطالة مجاريها التى تشق الصخور اللينة ، ويشتد إنحدار الأجزاء المحفورة فى الصخور الصلبة (شكلا ٣-٢١، ٣-٢٢) .

٢- يزداد إتساع الوادى فى مرحلة النضج نتيجة عمليات التوسيع الجانبى، وبدء ترنح الثنــيات الــنهرية المصاحب لعمليات الترسيب على جوانبها المحدبة ، وتقويض جوانــبها المقعرة ، ولكن لا يتسع السهل الفيضى بدرجة تفوق ترنح المُنعطفات النهرية ويظل ملازما لها .

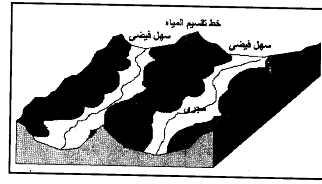
٣- التباطؤ النسبى للجريان السطحى بسبب قلة الإنحدار الطولى للنهر ، بالمقارنة مع مرحلة الفتوة والشباب .

٤- تظهر مناطق تقسيم المياه بين النظم النهرية حادة مضرسة مُدببة القمم ، مما يؤدى إلى جعل المرتفعات الفاصلة بين الأنهار ضيقة .

٥- يتلاشى وجود المساقط المائية والشلالات والجنادل التى كانت تظهر على المقاطع الطولية للأنهار فى مرحلة الشباب .



شكل (٣-٢١) خصائص النهر فى مرحلة النضج



شكل (٣-٢٢) خصائص النهر فى مرحلة النضج المتأخر

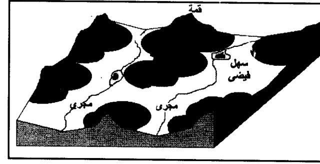
(ج) خصائص النهر فى مرحلة الكهولة أو الشيخوخة (الأجزاء الدنيا) :

تـــبدأ مرحلة الشيخوخة فى حالة إستمرار مرحلة الإستقرار Standstill فى مستوى القـــاعدة ، وعـــدم تعرض الحوض لحركات رفع تكتونية ، وفى هذه الظروف تنشط عمليات التوســـيع والنحت الجانبى Lateral Erosion على حساب ضعف عمليات التعميق الرأسى. كمـــا تبدأ الأنهار خلال هذه المرحلة فى التوافق والتواؤم مع التكوينات الصخرية التى تشقها ، وعـــندئذ يتكون نمط نهرى لا يعكس المظهر الأصلى لتضاريس المنطقة ، ولكن تسهم العوامل الجيولوجية بصورة أكبر فى تحديد المظهر المورفولوجى للأنهار ، ويصبح هذا المظهر نتاج علاقة الأنهـــار بما تحتها من تكوينات صخرية وتراكيب بنيوية ، كما تؤدى عملية التوسيع الجانبى إلى تقلـــص وتخفيض أراضى ما بين الأودية ، وتعمل على إتساع قيعان مجاريها ، وتهذيب وتسوية إنحداراتها الطولية ، فيؤدى هذا إلى قلة وعورة المظهر التضاريسى للحوض برمته .

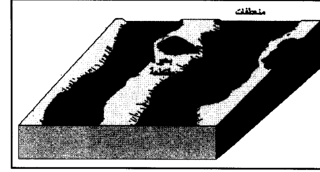
ومـــع إستمرار عملية تواؤم النهر مع الصخور التى يشقها ، تتهادى المياه فى المجرى برفق ، وتضـــعف قدرته على حمل المواد الخشنة ، ولذلك تقتصر حمولته على المواد العالقة والذائبة فى المـــياه ، وتنشـــط عملـــيات الإرساب النهرى على الضفاف المحدبة للثنيات النهرية River Meanders ، ويـــزداد تـــرنح هذه الثنيات ، وتواصل إنثناءاتها لتكون بحيرات هلالية مُقتطعة Ox-Bow Lakes، ويمـــيل لتوســـيع مجراه على حساب ضحولته ، ويتفرع عادة إلى مجارى

ضفيرية Braided Streams تفصل بينها جزراً رسوبية ، ويقوم ببناء سهله الفيضى Flood Plains ، وتكويــن الجسور الطبيعية Natural Leveés على ضفافه، ويتكون غطاءاً سميكاً من الفتات الصخرى ، ويشير تكوين هذا البناء الرسوبى المتجمع على قيعان المجارى النهرية إلى أن الــوادى النهرى قد بلغ مرحلة الشيخوخة من مراحل دورته الجيومورفولوجية ، التى تظهر ملامحهــا عــلى أجزاءه الدنيا بالقرب من المصب، حيث يتسم النهر خلال مرحلة الشيخوخة بالسمات الآتية (شكلا ٣-٢٣ ،٣-٢٤) :

١-إتساع المجرى وضحولته ويظهر المقطع العرضى للوادى على شكل حرف U.
٢- تكون الأودية واسعة جداً وهينة الإنحدار .
٣- هدوء جريانه وتهادى المياه برفق .
٤- تسوية القطاع الطولى للمجرى وقلة إنحداره العام من المنابع العليا وحتى المصب ، وعدم وجود أية بروزات تعترض المجرى أو نقط تغير فى الإنحدار.
٥- تختفى الصخور من قاع المجرى تماماً وتحل محلها الرواسب الفيضية الناعمة.
٦- يتكون المجرى داخل سهله الفيضى المتسع الذى يتكون من الرواسب الفيضية التى نجح فى نقلها من منابعه العليا خلال مرحلتى الشباب والنضج.
٧- تتكون العديد من البحيرات والمستنقعات والأهوار داخل السهل الفيضى وخاصة بالقرب من المصب .
٨- تظهر المُنعطفات النهرية والمجارى الضفيرية والجزر الرسوبية داخل المجرى .
٩- تــتكون الحمولة المنقولة من الرواسب الدقيقة الحبيبات وتنعدم الحمولة الزاحفة والمجرورة على القاع .



شكل (٣-٢٣) خصائص النهر فى مرحلة الشيخوخة



شكل (٣-٢٤) خصائص النهر فى نهاية مرحلة الشيخوخة

(أ) الظاهرات الجيومورفولوجية الناتجة عن فعل النحت :

تعــد الحُفــر الوعائية والشلالات والجنادل والخوانق النهرية ومُنعطفات الشباب من أهم مظاهر النحت النهرى ، ويكون النهر فى هذه المرحلة شديد الإنحدار سريع الجريان، وقادر على نحــت الصــخور ، ويظهر قطاعه العرضى شديد الإنحدار يشبه شكله حرف (V) ، وأهم الظاهرات السائدة خلال هذه المرحلة هى :

١- تعرية الرش Splash Erosion :

تــأثير الفعـــل الميكانيكى لإصطدام قطرات ماء المطر Rain Drops بسطح الأرض، ويعظـــم تأثير السيول الصحراوية لكبر حجم قطرات المياه وخاصة عند سقوطها على الأسطح المفككة الهشة (جوده ، ١٩٨٩).

٢- تعرية الجداول Rill Erosion –Rill Wash :

تحـــرك المياه فى بعض القنوات المائية الدقيقة مكونة شبكة تصريفية واضحة المعالم على الأجـــزاء المضرسة من سطح الأرض ، ويــُطلق اسم الحافات المزركشة Chevron Cliffs فى حالة تكاثف الجداول المائية المقُطعة للحافات الصخرية (Blume,1992).

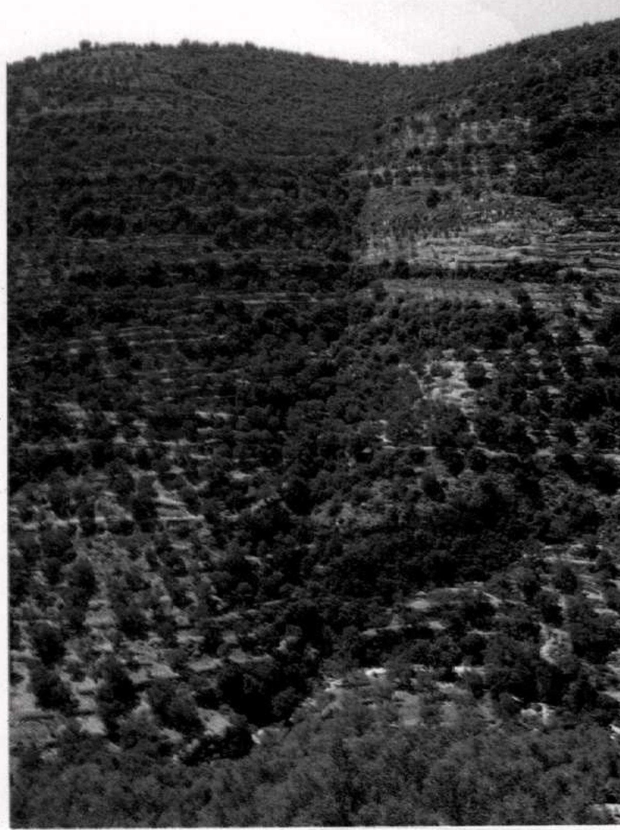
٣- المسيلات الجبلية Gullies :

تـــتكون المســـيلات الجبلية حيثما تزداد كمية المياه المتحركة وتلتقى أعداد كبيرة من الجـــداول المائية ، ويشتد النحت والتعميق الرأسى للمجرى المائى بسبب شدة إنحدار السطح الذى تشقه . وهناك مجموعة من العوامل يتوقف عليها المظهر الجيومورفولوجى لهذه المسيلات ، أهمها (جوده ،١٩٩٦) (صورة ٣-٣):-

"أ" كمية المياه المتدفقة ونظامها وطبيعة الحمولة المنقولة .

"ب" شدة إنحدار سطح الأرض ودرجة تقعره .

"ج" قابلية التسرب والنفاذية . "د" طبيعة الغطاء النباتى .



صورة (٣-٣) مسيل جبلى شديد الإنحدار على أحد جوانب وادى "خوابى" فى سوريا
(تصوير المؤلف فى يوليو ٢٠٠٢)

٤-الخوانق " الأخاديد " Georges - Canyon- Gorge :

تنشأ الخوانق أو الأخاديد كأجزاء ضيقة من المجارى المائية ذات جوانب جرفية ، ذات تكوينات جيولوجــية أكثر صلابة ، ولذا يواجه الوادى صعوبة فى شق مجرى له خلالها ، فتضيق قيعانها ، وتنشأ عن عملية التعميق الرأسى ، ولذلك تشتد عندها سرعة جريان المياه ، وتتكون الخوانــق

نتـــيجة إندفـــاع الحمولة النهرية بقوة بسبب زيادة طاقة النهر ، ولذا يعظم تأثيرالتعميق الرأسى للـــنهر على حساب التوسيع الجانبى ، وهناك العديد من العوامل المساعدة على ظهور الخوانق أهمها (صورة ٣-٤):

"أ" ضـــعف التركيب الصخرى لبعض أجزاء القاع فيسهل بالتالى تعميقها عن بقية أجزاء المجرى .

"ب" تتـــبع الـــنهر لأحـــد الخطـــوط الإنكسارية وبصفة خاصة الأغوار الإنكسارية Grabens.

"ج" تمكـــن الـــنهر من إختراق بعض الحافـــات الصخرية فتتركز طاقته الـــنهرية فى الـــثغرة التى تمكن من إخـــتراقها ، فيشـــتد تأثير التعميق الرأســـى ، وتظهر هذه الحالة فى بعـــض أجزاء وادى "الشيخ" شمال مدينة "سانت كاترين" .



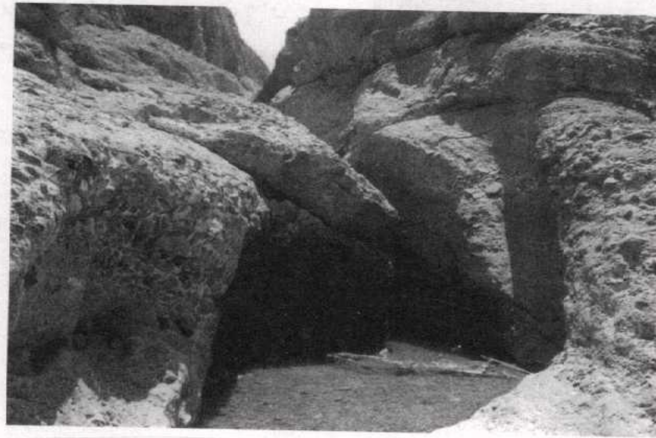
صورة (٣-٤) خانق نهرى فى وادى "حميس" بمنطقة "حتا"– الإمارات (تصوير المؤلف فى إبريل ٢٠٠١)

٥- الحُفر الوعائية Potholes :

عـــبارة عن مجموعة من الحُفر أو الفجوات الأسطوانية الشكل تظهر على قاع المجرى نتيجة الحركة الدوامية للمياه بما تحمله من مفتتات تحتك بقاع المجرى ، فتعمل على نحت الأجزاء الصخرية الضعيفة على شكل حُفر عميقة دائرية الشكل ، ومع إستمرار هذه العملية تلتقى هذه الحُفر مع بعضها مما يساعد على تعميق القاع (صورتا ٣- ٥ ، ٣-٦).



صورة (٣-٥) مجموعة متتابعة من الحُفر الوعائية ساعدت على التعميق الرأسى لنهر سوكا Soca فى سلوفينيا (تصوير المؤلف يوليو ٢٠٠٣)



صورة (٣-٦) حُفرة وعائية تتكون على قاع أحد الروافد العليا لوداى "حميس" بمنطقة "حتا" – الإمارات (تصوير المؤلف فى إبريل ٢٠٠١)

٦- نقاط تجديد الشباب Knick Points :

عبارة عن درجات أو عتبات صخرية تزيد عندها درجة إنحدار القطاع الطولى للنهر، نتيجة زيـــادة سرعة المياه فى هذه النقطة فتزداد مقدرته على النحت الرأسى ، ولذلك يتمكن من نقل أحجام وكميات أكبر من الكتل الصخرية والحصى ، وهى مايـــُطلق عليها اسم الشلالات ، وهناك عدة أسباب تؤدى إلى تكوين نقاط تجديد الشباب أهمها (شكل ٣-٢٥):

(أ) هبوط مستوى القاعدة Fall in Base Level :

يحدث هذا النوع من نقاط تجديد الشباب نتيجة الهبوط الذى يطرأ على مستوى القاعدة العـــام ، وهـــذه الظاهرة يتكرر حدوثها خلال الزمن الرابع الجيولوجى نتيجة التغيرات المناخـــية ، إذ هبطت مستويات البحار العالمية فى عدة أدوار نتيجة إنخفاض درجة حرارة الغـــلاف الجوى ، مما أدى إلى إنحباس جزء من مياه الأمطار على القمم الجبلية فى صورة غطاءات جليدية Ice Sheets، وهبط بالتالى خط الثلج الدائم [١].

(ب) نقاط التجديد الصخرية Lithological Knick Points :

يـــتكون هذا النوع من نقاط التجديد بسبب إختلاف صلابة الصخور المكونة للقاع ، فتـــتكون النقطة حينما تكون الصخور المكونة للجزء الأعلى من النهر أصلب من أجزاءه الدنـــيا فتـــندفع المياه وتكون قادرة على التعميق الرأسى بسهولة فى الصخور اللينة دون الصلبة ، مكونة درجة أو عتبة صخرية عند سطح الإنفصال الطبقى بين الطبقة الصلبة و الطبقة اللينة .

[١] راجع الجزء الخاص بالظاهرات الناتجة عن تغيرات مستوى القاعدة من الفصل ذاته .

(ج) نقاط التجديد البنيوية Structural Knick Points :

يتشـــكل هذا النمط من نقاط التجديد نتيجة تعرض النهر لبعض الحركات التكتونية مـــثل الإنكســـارات[1] أو الالـــتواءات ، أو خروج المصهورات البركانية ، وتعمل هذه الحـــركات على زيادة الفارق الرأسى بين أجزاء المجرى النهرى فتشتد بالتالى سرعة المياه عند هذه النقطة فتزداد طاقتها وتعمل على تعميق المجرى .

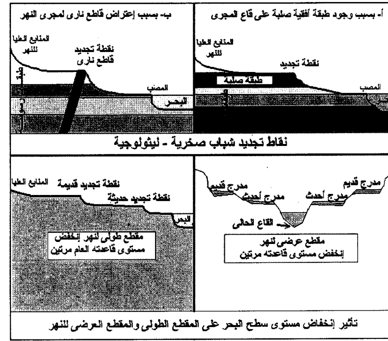
(د) نقاط التجديد المناخية Climatical Knick Points :

ينشأ هذا النوع من نقاط التجديد نتيجة أحد عاملين هما :

١- زيـــادة كميات الأمطار الساقطة على المنابع العليا للنهر فتزداد مقدرته على النحت الرأسى وتعميق المجرى .

٢- التغيرات المناخية التى تعمل على تجمد مياه النهر وتحويله إلى وادى جليدى، وحينما يـــتغير المناخ للدفئ مرة أخرى تندفع المياه عند الدرجات أو العتبات الصخرية التى كونها الوادى الجليدى ، مكونة نقط تجديد فى مظهرها ، إلا أنها فى واقع الأمر تشكلت فى فترة سابقة نتيجة تحرك الجليد على القاع .

[1] يشترط أن يكون الجانب المرفوع للانكسار جهة المنابع العليا للنهر والجانب الهابط للانكسار جهة المصب .



شكل (٣-٢٥) بعض أنماط نقاط تجديد شباب النهر

(ب) الظاهرات الجيومورفولوجية الناتجة عن فعل الإرساب :

هناك عدد من الظروف تكون ملائمة لعمليات الإرساب وهى (شكل ٣-٢٦):

١- قلة الإنحدار الطولى للنهر أو إتساع المجرى ، أو مرور النهر فى بحيرة أو مستنقع مما يساعد على ضعف التيار .

٢- وجود ثنية أو مُنعطف نهرى ينتج عنه إعتراض الضفة المحدبة للتيار المائى ، فتضعف سرعة النهر.

٣- مرور النهر فى منطقة ذات مسامية عالية أو شديدة التبخر ، تعمل على فقد قسم كبير من مائية النهر فتضعف قدرته على الحمل ولذلك يلقى برواسبه على القاع .



شكل (٣-٢٦) بعض الأشكال النهرية الرسوبية

ومن الطبيعى أن النهر لا يلقى فى أول مراحل الإرساب سوى المواد الكبيرة الحجم وهى الحصـــى والحصباء ، ثم تليها المواد الأصغر منها حجماً ، ثم أخيراً المواد الدقيقة كالغرين Silt ، ويهمـــنا هنا دراسة خصائص أهم الظاهرات الجيومورفولوجية التى تنتج عن عمليات الإرساب وهى :-

١- السهول الفيضية Flood Plains :

يـــتكون السهل الفيضى عندما يصل النهر بمنسوب مياهه رأسياً إلى مستوى قريب من مستوى القاعدة ، فيؤدى هذا الاقتراب إلى قلة الإنحدار وقلة سرعة جريان مياه النهر، وهذا بدوره يؤدى بالمجرى النهرى إلى اتخاذ الشكل المنحنى المعدل عن المجرى النهرى شبه المستقيم .

يتكون السهل الفيضى من الرواسب النهرية Alluvial Deposits التى تحتوى على الحصـــى Gravels والغـــرين Silt ، ويدل وجود الحصى فى تكوينات السهل الفيضى على النحت الجانبى للانحناءات النهرية ، التى تُمكن المجرى من نحتها فى الجوانب المقعرة للمُنعطفات

ثم ترسيبها على جوانبها المحدبة مكونة ما يعرف باسم القطوع النهرية Slip-Off Slope ، وظاهرة الحواجز الرسوبية Point Bars ، وهى عبارة عن جزر مقوسة الشكل تتكون على الجوانب المحدبة للثنيات النهرية أيضاً ، وتتركب من تجمع الحصى أو الرمل أو الغرين.

ويتوقف تكوين السهل الفيضى على ما إذا كانت هناك فرصة طويلة أمام النهر يستطيع خلالها تكوين سهولا فيضية على طول مجراه ، ويحدث هذا عندما يتأثر مجرى النهر فى بداية تكوينه بوجود سطح غير مستوى ، فيضطر النهر أن يتخذ شكلاً متعرجاً كثير المنحنيات ، وتساعد هذه المنحنيات على دفع تيار النهر بقوة نحو أحد جانبى النهر، ولذلك تشتد على هذا الجانب عملية النحت ، بينما يضعف التيار على الجانب الآخر ، فيلقى عنده تيار المياه الضعيف بعض الرواسب ، وحينما يفيض النهر كل عام يقوم بحشو واديه برواسبه ، ويتكون عندئذ سهل مستطيل ضيق يحيط بضفتى المجرى يسمى بالسهل الفيضى Alluvial Plain أو السهل الرسوبى (شكل ٣-٢٧) .

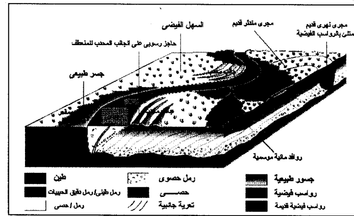


شكل (٣-٢٧) رواسب السهل الفيضى

٢- مُنعطفات الشيخوخة Old Stage Meanders :

تنمو الثنيات النهرية Meanders نمواً جانبياً نتيجة إختلاف مقدرة مياه النهر على النحت والإرساب من جانب لآخر على طول القناة النهرية، كما تتحرك الانحناءات النهرية طولياً فى إتجاه المصب النهرى ، وتجعل هذه العملية الجانبية والطولية المجرى النهري دائم التطور ، وعملية تراكم الرواسب على الجوانب المحدبة للثنيات ، وتحركها الحثيث نحو المصب تسهم فى تكوين

السهول الفيضية للأنهار ، ويختلف إتساع السهل الفيضى من جزء للآخر ، فقد يكون متسعاً على أحد جانبى المجرى النهرى ، وضيقاً أو منعدماً تماماً على الجانب الآخر ، ولكن هناك بعض المجارى النهرية تتوسط سهولها الفيضية ، ولذلك لا تُسهم مُنعطفاتها فى توسيع سهولها بصورة مرحلية ، إلى أن يزداد ترنحها وتحركها نحو المصب فتتقارب من أحد الجوانب لتبدأ فى ترسيب المـــزيد مـــن الرواســـب على ضفاف ثنياتها المحدبة فتسهم فى توسيع سهلها الفيضى من جديد (شكلا ٣-٢٨ ، ٣-٢٩ ، وصورتا ٣-٧ ، ٣-٨).



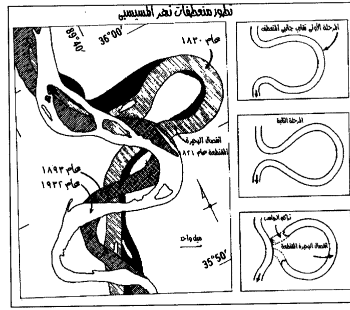
شكل (٣-٢٨) عناصر مُنعطف الشيخوخة



صورة (٣-٧) مُنعطف نهرى قرب مصب نهر أم الربيع بالمغرب
(تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٣)



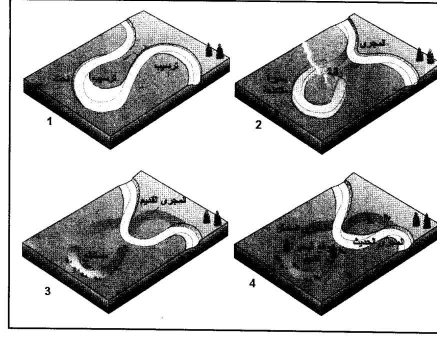
صورة (٣-٨) مُنعطف فى نهر سافا Sava فى سلوفينيا
(تصوير المؤلف فى يوليو ٢٠٠٣)



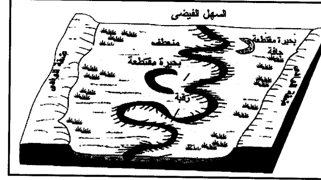
شكل (٣-٢٩) التطور الجيومورفولوجى لُمنعطفات نهر المسيسبي بين القرنين الثامن التاسع عشر والعشرين ، وكيفية تكوين البحيرات المُقتطعة

٣- البحيرات المُقتطعة **Ox-Bow Lakes** :

يــزداد إنثناء الأجزاء الملتوية من مجرى النهر نتيجة لعمليات النحت والإرساب التى تتعرض لها جوانــبه ، ومع إستمرار هذه العملية تقترب أطراف الالتواءات بعضها من بعض إلى أن تتصل هــذه الأطراف فى النهاية ، وتفتح قناة جديدة قصيرة تجرى فيها مياه النهر مباشرة عبر الثنيتين المتجاورتين ، وبعد فترة زمنية يتكون سد رسوبى يفصل المجرى الملتوى القديم عن المجرى الجديد، ليظهر القســم المنفصل منها على هيئة بحيرة هلالية الشكل (شكلا ٣-٣٠ ،٣-٣١، وصورة ٣-٩).



شكل (٣-٣٠) مراحل تكوين البحيرات المُقتطعة



شكل (٣-٣١) إنفصال البحيرات المُقتطعة عن مُنعطفات الشيخوخة

٤- الدالات Deltas :

تتكون الدالات وتنمو عند مصبات الأنهار على حساب تقلص المسطحات البحرية ، حيث تتجمع الرواسب فى الجزء الأدنى للنهر عند المصب ، وتتراكم على قاع البحر ، ولكن يتوقف تكوين الدالات وتتحدد درجة نموها على مجموعة من الشروط نجملها فيما يلى :

"أ" هدوء الامواج وضعف التيارات البحرية.

"ب" ضحولة منطقة الشاطئ .

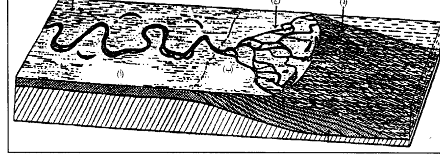
"ج" زيادة حمولة النهر من الرواسب .

"د" وصول النهر لمنطقة المصب بكامل حمولته وألا تعترضه بحيرات نهرية تعمل على ترسيب حمولته من الطمى .

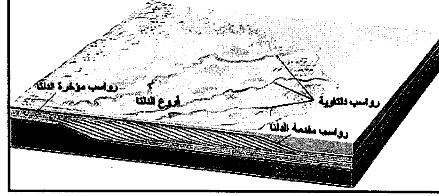
وتتراكم الرواسب الدلتاوية على هيئة طبقات متوازية تتتابع مع كل فيضان ، ويمكن دراسة تعاقبها الرسوبى بحفر آبار رأسية فى أرضيتها ، وتتخذ معظم الدالات الفيضية فى العالم شكل المثلث ، بحيث يمثل خط الساحل قاعدة المثلث ، كما تمثل قمة الدلتا رأس المثلث ويتفق فرعى الدلتا مع ضلعيه ، وقد تكون الدلتا ذات فرعين أو متعددة الفروع مثل دلتا النيل القديمة قبل أن تضمحل معظم فروعها . وهناك نمط آخر لأشكال الدالات تبدو ذات أصابع أو ألسنة رسوبية ممتدة داخل المسطحات البحرية ، وتشبه قدم الطائر Bird's Foot وتعد دلتا نهر "المسيسبى" أشهر أمثلة هذا النوع من الدالات.

ويتوقف نمو الدلتا على كمية الرواسب التى يلقى بها النهر على قاع البحر ، ولذلك يختل معدل تقدم الدالات من نهر [illegible] ، فدلتا نهر "البو Bo "تتقدم بمعدل ١٢ متر فى السنة على حساب البحر الإدرياتى ، بينما تتآكل دلتا النيل بعد بناء السد العالى واحتباس الرواسب الفيضية على قاع بحيرة السد العالى وتعرض سواحل الدلتا للنحر البحر ، بالإضافة إلى تعرضها لحركة هبوط أرضى غير متوازنة يقع مركزها على قاع بحيرة "المنزلة" ، وتزداد مخاطر إنكماش

الدلـــتا إذا ما سلمنا بفرضية إرتفاع مناسيب البحار العالمية الناجم عن تسخين الغلاف الجوى (شكلا ٣-٣٢ ، ٣-٣٣ ، وصورة ٣-١٠).



شكل (٣-٣٢) تركيب الدلتا
(أ) السهل الفيضى ، (ب) قمة الدلتا ، (ج) فروع الدلتا ، (د) رواسب مقدمة الدلتا



شكل (٣-٣٣) تكوين الدلتا بتراكم الرواسب الفيضية على قاع البحر


صورة (٣-٩) بحيرة مقتطعة عن منعطف نهري
(Photo: Norm Catto in: Slattery,2003)


صورة (٣-١٠) مرئية فضائية لدلتا نهر لينا – روسيا

٥- الجسور الطبيعية Natural Levee :

تتشكل الجسور الطبيعية من تراكم الرواسب الفيضية على ضفاف المجارى المائية أثناء الفيضان ، حيـــث تفيض حمولة النهر على الضفاف فتترسب الرواسب وتنساب المياه نحو السهل الفيضى الأقـــل منســـوباً . أما أثناء فترة التحاريق ينخفض مستوى المياه فى المجرى وتقل سرعة جريانها فتضعف قدرتها على حمل الرواسب فتُطمى (تترسب) على القاع ، ومع إستمرار الظاهرتين عام بعد عام ، ترتفع الجسور الطبيعية أثناء الفيضان ، ويرتفع القاع وقت التحاريق ، مما يساعد على رفـــع مســـتوى المجرى بالنسبة للسهل الفيضى المتاخم له ، وهذا الوضع يُهدد المناطق الزراعية بالسهل الفيضى لأخطار الغرق أثناء الفيضانات العالية ، وتُعد الأنهار الصينية "الهوانجهو والسى كيانج " أوضح الأمثلة لهذا النمط من الأنهار (شكل ٣-٣٤).



شكل (٣-٣٤) الجسور الطبيعية وإطماء القاع

٦- المجارى الضفيرية – المضفرة Braided Streams :



صورة (٣-١١) صورة جوية مائلة لمجارى ضفيرية
(Photo: Martin Geertsema in: Slattery,2003

تتفرع المجارى المائية عادة إلى عدد من الفـــروع تفصـــل فيما بينها بعض الجزر الرسوبية عند ضعف طاقة النهر على حمل الرواســـب ، ويحدث هذا عند توافر واحد أو أكـــثر من الظروف الآتية (صورة ٣-١١):

"أ" ضعف شدة الإنحدار الطولى للمجرى .

"ب" زيـــادة إتساع المجرى بالنسبة للحمولة النهرية وقد يحدث ذلك فى حالة إنخفاض كميات المياه الواردة للنهر بصورة طبيعية أو بشرية مثل تشييد السدود.

"ج" زيادة تسرب المياه بسبب إجتياز منطقة ذات مسامية مرتفعة .

"د" شدة تبخر المياه نتيجة إرتفاع درجة الحرارة مع جفاف الهواء .

"هـــ" إجتياز المجرى لنطاق من المستنقعات التى تنمو به الحشائش والنباتات المائية التى تستنفذ قدراً من موازنته المائية.

سادساً : الإرساب الحوضى فى الأقاليم شبه الجافة :

تضم أشكال الإرساب الحوضى فى الأقاليم شبه الجافة مجموعة من الظاهرات الجيومورفولوجية ، تتكون نتيجة عمليات الإرساب بفعل المياه فى الأجزاء الحوضية المقعرة من سطح الأرض الواقعة ضمن العروض الصحراوية وشبه الصحراوية ، وتتميز هذه الأقاليم بعدة سمات بيئية أهمها ما يلى:

١- الجفاف Aridity حيث يقل فيها معدل التساقط عن معدل التبخر السنوى .

٢- كما تتميز بسقوط أمطارها الشحيحة على شكل رخات كثيفة فجائية مُركزة فى فترة زمنية وجيزة ، وهى مايـــُطلق عليه تعبير سيول صحراوية .

٣- وتتسم بفقر غطاءها النباتى مما يسهل من التأثير التحاتى لعوامل التعرية وخاصة فعل المياه الجارية .

ونظراً لأهمية هذا الموضوع أفردنا جزءاً خاصاً من هذا الفصل لدراسة الأشكال الجيومورفولوجية المتكونة عن فعل الماء الجارى بالصحارى لأنها تختص بسمات جيومورفوجية تميزها عن بقية أشكال التعرية النهرية .

(أ) العوامل المؤثرة فى تحديد أشكال الإرساب الحوضى فى الأقاليم شبه الجافة :

١- مدى صلابة الصخر وخصائصه البنيوية .

٢- درجة إنحدار ونوع تقوس سطح الأرض (محدب – مقعر – مستقيم) [١] .

٣- حجم المياه الساقطة على الإقليم ، وطول الفترة الزمنية التى تستغرقها عملية التساقط .

٤- درجة الحرارة ونسبة الرطوبة ومعامل التبخر فى المنطقة .

٥- نوع وكثافة الغطاء النباتى .

٦- طبيعة المواد المنقولة على سفوح المنحدرات بالمنطقة.

٧- مستوى الماء الباطنى ومدى تذبذبه موسمياً .

(ب) أهم أشكال الإرساب الحوضى فى الأقاليم شبه الجافة

يمكن إيجاز أهم الظاهرات الجيومورفولوجية الناتجة عن الترسيب الحوضى فى الأقاليم شبه الجافة فيما يلى :

١- المراوح الفيضية (الدالات المروحية) Alluvial Fans :

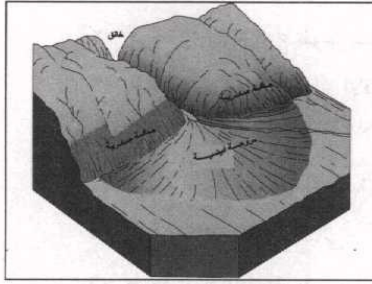
أشكال رسوبية مروحية الشكل تتشكل فى المناطق شبه الجافة ، تتميز بضعف إنحدارها وتقوس سطوحها ، ترسم انصاف دوائر تحيط بمخارج المجارى الخانقية الجبلية ، حيثما تنخفض سرعة المياه فجائياً فتنهار قدرة السيل على الحمل ، فيتخلص من حمولته ، ويفترشها على سطوح قواعد المرتفعات (شكل ٣-٣٥ ، وصورة ٣-١٢).

وأهم ما يميز الدالات المروحية أن رواسبها تصنف تبعاً للمسافة بين قواعد الجبال والأحواض المحيطة بها ، فتتألف رؤوس المراوح من الجلاميد الصخرية الضخمة ، التى تلقى بها السيول المتتالية عند نطاق التغير فى درجة الإنحدار ، بينما يتشكل محيط هذه المراوح من الرمل

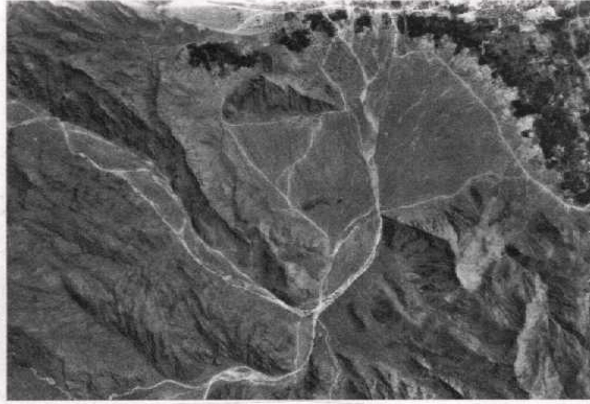
[١] راجع خصائص الجزء الخاص بحركة المواد على سفوح المنحدرات بالفصل الأول .

والغرين والطين ، أما فيما بين الرؤوس والمحيط أو القواعد تتوزع الرواسب الحصوية تبعاً لحجومها ، فيتراكم أخشنها عند الرؤوس ويتجه أدقها نحو الحضيض .

وتــتقطع أسطح المراوح بشبكات موسمية من المجارى السيلية ، تتباين أشكالها عقــب كــل سيل ، وحينما تنمو المراوح الفيضــية تــتقارب مع بعضها حتى تلتحم مكونة نطاقاً رسوبياً متصلا عند حضيض المرتفعات يــُطلق عليه اسم الباجادا .



شكل (٣-٣٥) الملامح الجيومورفولوجية لمروحة فيضية



صورة (٣-١٢) صورة جوية لمروحة وادى "البيح" بإمارة رأس الخيمة بدولة الإمارات

٢- الباجادا – الباهادا Bajada – Bahada :

الباجادا مصطلح أسبانى الأصل ، أنتشر فيما بعد وحُرِف إلى بهادا بالمناطق شبه الجافة جنوب غرب الولايات المتحدة ، وهو يعنى القسم السفلى الرسوبى من المنحدرات الجبلية الصحراوية ،

ويتميز بإنحداره البسيط الذى لا يتعدى السبع درجات ، بينما يتراوح إنحدار الواجهة الجبلية التى تعلوه بين ١٥ درجة والزاوية القائمة .
وتتشـــكل الـــباجادا من مجموعة متلاصقة من الإرسابات المروحية التى تغذيها المسيلات المقطعة للواجهـــة الجبلية ، وباصطدام مياه هذه المسيلات بسطح الأرض المنبسط عند أقدام الجبال تقل ســـرعة الجريان فتفترش حمولتها مروحياً ، وتحتوى إرسابات الباجادا على الرواسب المائية من حصـــى وغـــرين مختلطة مع بعض الجلاميد المنطمرة التى نقلتها السيول الطينية ، وعموماً فإن رواسب الباجادا تكون مشتقة من المناطق الجبلية المتاخمة لها، وتستدق أحجامها بالإتجاه لأسفل.

٣- البلايا (البحيرات السبخية) Playas:

مصطلح أسبانى[١] يـــُطلق فى امريكا على مناطق حوضية مستوية الأسطح ، تشكل أخفض بقاع هـــذه الأحواض ، وتستمد هذه المنخفضات مياهها من عدة مصادر مثل التساقط أو من نشع المـــياه الجوفية بالخاصية الشعرية ، وقد تتلقى المياه من الجريان السطحى الذى يسهم فى إمتلائها جزئياً بالرواسب التى تجلبها الأودية من المرتفعات المجاورة (عبدالله يوسف الغنيم،١٩٨١: ١٤)، وقـــد تكـــون مســـطحات مائـــية فصلية أو دائمة ، وعلى ذلك يمكن تصنيف البلايا إلى عدة مجموعات تبعاً لإختلاف مائيتها هى(شكل ٣-٣٦) :-

"أ" بلايا جافة Dry Playa.

"ب" بلايا رطبة Moist Playa.

"ج" بلايا موسمية Seasonal Playa .

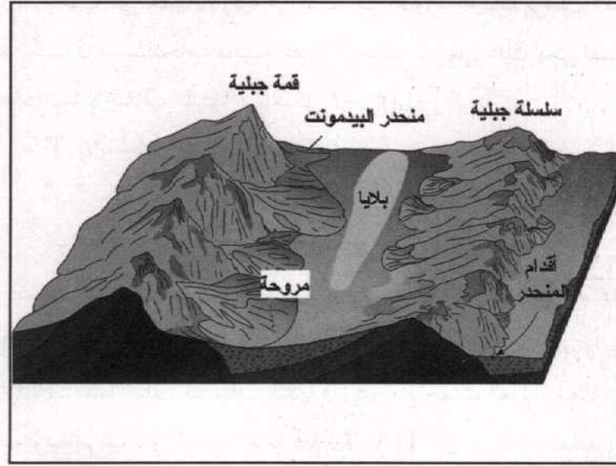
كمـــا تُصـــنف الـــبلايا حسب نوع الإرسابات المتراكمة على قيعانها مثل البلايا الجيرية Lime Playa ، والبلايا المحلية المتبلرة Crystal Body Playa ، والبلايا الطينية Mud Playa . كما تختلف مسميات البلايا فى كثير من جهات العالم ، فيطلق عليها "بان Pan " فى جـــنوب أفريقيا ، و"البحيرة الجافة Dry Lake " فى أمريكا الشمالية ، و"نور Nor " فى صـــحراء منغولـــيا ، ويـــطلق عليها " مسطحات الصلصال Clay Playa " فى أستراليا ،

[١] كلمة باللغة الأسبانية تعنى الساحل أو الشاطئ (Fairbridge, 1969: 865)

و"الـــتاكير Takir " فى روســيا ، أمـــا فى شبه الجزيرة العربية فهى تسمى "الخبراء وجمعها "الخبراوات" (عبدالله يوسف الغنيم ،١٩٨١: ١٥).

ويمثل البلايا السطح السهلى المنخفض عند أطراف منحدرات البيدمونت ، حيثما يستمر سطح الأرض فى صــعوده الــتدريجي بمعــدل أقصــاه سبع درجات ، وعند الطرف العلوى لمنحدر البيدمونـــت يـــتغير الإنحدار فجائياً إلى مواجهة الحائط الجبلى ، ولذا تستدق إرسابات البلايا الــبحيرية قياســاً بمكونات الباجادا الخشنة المتراكمة عند حضيض المرتفعات (Cooke & Warren,1973:215).

وقد ترتبط بعض البحيرات السبخية بالمناطق ذات النشاط التكتونى ، حينما تتواجد المواضع الحوضية بما يسمح بتسرب المياه سطحياً ، مثل البحيرات المنتشرة فى صحارى "أتكاما وموجاف ووادى ديث" بكاليفورنيا كما ترصع بحيرات البلايا أرضية منخفضات "سيوه والداخلة والخارجة والقطارة" بالصحراء الغربية المصرية (جوده ، ١٩٩٦) .



شكل (٣-٣٦) علاقة البلايا بأشكال الترسيب الحوضى الأخرى

٤ – السبخة Sabkha-Sebkha :

السبخة مصطلح عربي الأصل يشير إلى منخفضات صحراوية مسطحة تتأثر بذبذبة مستوى الماء الـــباطنى ، فتمتلئ بالمياه حينما يرتفع هذا المستوى حاملاً معه بعض الأملاح الذائبة، لتترسب على السطح خلال فصل الجفاف مكونة قشرة ملحية صلدة ، وتتكون معظم مواد السباخ من الإرسابات الطينية المشبعة بالأملاح ، ولذا يـــُطلق عليها أحياناً السطح القلوى Alkali flat (Allen & Pye,1992:3). وتنمو بالسباخ مجموعات من النباتات المحبة للملوحة، تعمل كمصـــايد للـــرمال وقت الجفاف ، فتتراكم عليها مكونة كومات محدودة الإرتفاع (النباك – النـــبكات Mounds) وهـــناك العديـــد مـــن الدراســـات الـــتى أجريت على الأشكال الجيومورفولوجية المرتبطة بالسباخ ، ولعل أبرزها الدراسة التى قدمت عن سباخ شبه جزيرة قطر (محمود عاشور وآخرون ، ١٩٩١) . وتنتشر السباخ فى جنوب الخليج العربى ، وأكبر السباخ الداخلـــية فى شـــبه الجزيرة "سبخة أم السميم" فى الحوض الشرقى من الربع الخالى ، و"سبخة مطى" الواقعة فى دولة الإمارات العربية المتحدة ، وسباخ سهل تهامة وخاصة بين مدينتى "ينبع " و"جدة" (عبدالله يوسف الغنيم ،١٩٨١: ٣١).

وقـــد تـــتأثر السباخ الساحلية بتيارات المد فترفع من منسوب مياهها ، كما تسهم بعض المجـــارى المائية الجوفية فى تغذية السباخ بالمياه تحت السطح ، مثل الشطوط Shotts المنتشرة على سواحل تونس والجزائر ، حيث تغذيها بعض المجارى الجوفية المقُطعة لجبال أطلس بالمياه ، وبذلـــك تتمـــيز مســـطحات البلايا عن السبخات فى إنسياب المياه إليها سطحياً بما تحمله من رواسب على حين ترتبط السباخ بمستوى الماء الباطنى على إختلاف مصادره .

٥– الحوض الجبلى " البلسن " Bolson :

الحـــوض الجبلى أو " البلسن Bolson" مصطلح أسبانى أنتشر على نطاق واسع بجنوب غرب الولايات المتحدة وشمال المكسيك ، وكذلك بحوض "تاريم ومنغوليا" ووادى الأردن ، ويتشكل البلسن كنطاق حوضى تطوقه حوائط جبلية عالية ، مُقطعة بالأودية الجافة ، التى تصب مياهها

بالمـــنخفض ، ويتوســـط الحوض الجبلي عادة بحيرة ، أو ملاحة ، أو سبخة يتوقف نموها على العلاقة بين معدل البخر بالإقليم وحجم التصريف الوارد للحوض ، وهى بذلك تعد كمستويات قـــاعدة مؤقته ليست لها علاقة بمستوى القاعدة العام ، فقد تكون فوقه بكثير أو دونه بكثير ، وينتهى مصير هذه الأحواض بالإمتلاء برواسب الوديان نتيجة إرتفاع قاعها المستمر .

٦- الرواسب البحيرية الحُفرية Fossiliferous Lacustrine Deposits :

قـــد تنكشف بعض البحيرات القديمة التى تشكلت خلال ظروف مناخية سابقة ، ويستدل على نشـــأتها بدراسة بقايا رواسبها ، والوقوف على خصائص بيئتها الترسيبية فحينما يتحول المناخ للجفاف تظهر بقايا الرواسب البحيرية كتلال تبرز بضع عشرات أو مئات الأمتار فوق المستوى العام لسطح الحوض ، وتصبح بذلك عرضة لعوامل التعرية الحديثة لتمزقها من جديد. ولعل بقايا الرواســـب المنتشـــرة بوادى "فيران" بجنوب شرق سيناء خير شاهد على ذلك ، وتشغل أيضاً الرواســـب الطينية الرملية القديمة قاع حوض سولتون بجنوب شرق كاليفورنيا ، وتظهر كتلال فـــوق الســـطح وتعرضـــت للتآكل السريع وتشكلت بها أعداد كبيرة من القنوات المتعمقة فى تكويناتها الهشة .

سابعاً : تأثير تغير منسوب مستوى القاعدة على النظم النهرية :

إذا حدث تغير فى منسوب مستوى القاعدة ، فإن هذا التغير ينعكس على النهر وواديه فى أجـــزائه المخـــتلفة فى صورة ظاهرات جيومورفولوجية عديدة أوضحها على القطاع الطولى للنهر والقطاع العرضي لواديه ، وقبل أن نناقش هذه الظاهرات التى يمكن بواسطتها تبين العلاقة بـــين المجـــرى النهرى وواديه من ناحية ومستوى قاعدته من ناحية أخرى يحسن أن نستعرض الخصـــائص الجيومورفولوجية للوادى النهرى المثالى أى الوادى الذى لا تختلف الظروف المناخية على طوله من منابعه حتى مصبه ، وكذلك الوادى الذى لا إختلاف فى تكويناته الصخرية نوعاً ونظاماً من منبعه إلى مصبه أيضاً، ثم أخيراً الوادى الذى يصب فى مستوى قاعدة مستقر لفترة زمنية طويلة (شكل ٣-٣٧).



شكل (٣-٣٧) الظاهرات الجيومورفولوجية الناتجة عن إنخفاض مستوى القاعدة

١- نقاط تجديد الشباب **Point of Rejuvenation**:

تظهر نقاط تجديد الشباب على هيئة تغير فجائى فى المقطع الطولى للمجرى ، وهى بذلك تتشابه مع جميع نقاط التجديد التى تتكون على قاع المجرى لكن لأسباب أخرى قد تكون جيولوجية أو مناخية .

و يبدأ هذا النوع من نقاط التجديد عند مصبات الأنهار نتيجة الإختلاف فى الفارق الرأسى بين منسوب مياه النهر ومنسوب البحر الذى يصب فيه . وتفصل هذين المنسوبين منطقة أرضية تنحدر عليها مياه النهر لتصل إلى المنسوب الجديد المنخفض لمياه البحر، وعلى طول هذه المنطقة الأرضية المنحدرة تسرع مياه النهر فى الجريان ويبدأ فى هذه المنطقة ينشط فى عملية نحته الرأسى ممـــا يسهم فى تعميق مجرى النهر فى هذا الجزء إلى منسوب يقترب من منسوب القاعدة الهابط ، ونتيجة لذلك تتراجع هذه النقطة ناحية الأجزاء العليا من النهر فتتأثر بها الأجزاء من الأنهار التى تـــلحقها هـــذه النقطة، ولذلك فإن جميع روافد النهر ستتأثر أيضا بتراجع هذه النقطة أى أنها

ســـتكون ممثلة على النهر الرئيسى وعلى كل روافده التى ترفده فى مواضع أدنى من موضع نقطة الـــتجديد عـــلى النهر الرئيسى [1]، لكن يختلف معدل تراجع هذه النقطة تبعا لعدد من العوامل أهمها :

"أ" حجم الحمولة النهرية وكمية الصخور والحصى التى يحملها معه النهر .

"ب" درجة صلابة صخور القاع .

"ج" تأثير الشقوق والفواصل الصخرية .

"د" امتداد المجرى بصورة موازية لبعض السدود الرأسية (القواطع النارية) يعمل على تركيز طاقته المائية وبالتالى سرعة تراجع نقطة التجديد .

وينـــتج عن إنخفاض مستوى القاعدة العام أيضا تشكيل ظاهرة أخرى ترتبط بنقاط التجديد هـــى المدرجات النهرية التوأمية المزدوجة ، وهى عبارة عن بقايا القاع القديم للنهر قبل عملية الإنخفـــاض ، وتســـتخدم هـــذه الظاهرة فى دراسة مستوى قاع النهر القديم ومعرفة خصائصه الجيومورفولوجـــية عـــن طـــريق جمع وتحليل بقايا الرواسب النهرية المنتشرة على أسطح هذه المدرجات.

٢- المدرجات النهرية River Terraces :

أن إخـــتلاف الظروف المناخية فى فترة البليستوسين سواء في المناطق المعتدلة المطيرة أو حتى في المـــناطق الجافة الصحراوية يترك آثاره على سطح الأرض في الأودية النهرية بصفة خاصة على شكل مصاطب على جوانب هذه الأودية ، ففى المناطق المعتدلة المطيرة تنقسم فترة البليستوسين إلى فـــترات جليدية Glacial Periods وأخرى غير جليدية Interglacial Periods أما في المـــناطق الجافـــة أو الصحراوية فإنها تنقسم إلى فترات مطيرة وأخرى جافة Pluvial and Dry Periods ففـــى أثناء الفترات الجليدية فى المناطق المعتدلة ينخفض منسوب سطح البحر

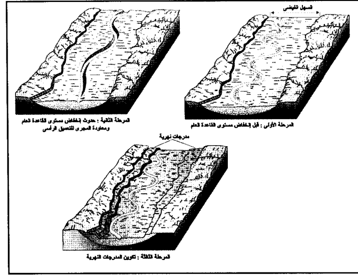
[1] يـــُطلق تعبير مستوى القاعدة العام على منسوب المسطحات البحرية المفتوحة ، كما يـــُطلق تعبير مستوى القاعدة المحلى على المصبات النهرية المغلقة مثل البحيرات والبحار الداخلية والمستنقعات والاحواض الداخلية.

نتــيجة قلة التصريف النهرى واحتباس المياه على يابس الأرض فى صورة جليد، كما أن كمية المياه المنسابة على سطح الأرض في صورة جليد، كما أن كمية المياه المنسابة على سطح الأرض فى صورة أنهار تكون قليلة وعليه فان الفترات الجليدية تؤثر على المجارى النهرية فى أجزائها الدنيا والعلــيا أو بمعنى آخر عند المصبات وعند المنابع ، ففى الأجزاء الدنيا نتيجة لإنخفاض منسوب القــاعدة تنشــط عملية النحت وترك سهله الفيضى على جانبيه فى صورة مصاطب ، أما فى الأجزاء العليا والتى تقع فى الظروف المناخية شبه الجليدية Pre- Glacial Conditions هذه الظــروف التى تنعكس آثارها بصورة واضحة على مائية (كمية مياه الأنهار) والحمولة النهرية نتــيجة تأثيرهـــا على فقر الحياة النباتية على جانبى الوادى النهرى ، فان النهر فى هذه المناطق يتصف بعملية الإرساب (شكل ٣-٣٨).

ويتضـــح لـــنا هـــذا إذا ما عرفنا أن الظروف المناخية شبه الجليدية أى المتاخمة للغطاء الجلــيدى ، تؤثر على كمية المياه المنصرفة فى هذه الأجزاء العليا من النهر حيث لا تساعد هذه الظــروف على ذوبان مياه الجليد ، وعليه فان كمية المياه النهرية تكون قليلة، فى حين أن هذه الظروف شبه الجليدية تعمل على فقر الحياة النباتية على جوانب الأودية النهرية العليا كما تعمل نتــيجة ذلـــك على تفكك الصخر وتحلله بدرجة كبيرة على منحدرات هذه الأودية ، ونشاط عملـــية الصـــقيع وتتابع ذوبان المياه وتجمدها يؤدى إلى نشاط فى حركة هذا الفتات على هذه المنحدرات إلى المجارى النهرية التى تجرى فى قيعان هذه الأودية ، وعلى ذلك فان نسبة الحمولة تــزيد عـــلى مقـــدرة وكمـــية مياه الأنهار فى تلك المناطق الأمر الذى يؤدى إلى نشاط عملية الإرساب.

وتنعكس هذه الصورة أثناء الفترات غير الجليدية حيث يرتفع منسوب مستوى القاعدة بســبب ما تنصرف إليه من كميات ضخمة من المياه نتيجة ذوبان الجليد أثناء هذه الفترات ، فــيؤثر هذا على الأجزاء الدنيا وتصبح ظاهرة الإرساب فيها واضحة، وتطغى المسطحات المائية البحرية على مخارج هذه الأودية القديمة ، فى حين أن الأجزاء العليا نظراً للكميات الكبيرة للمياه

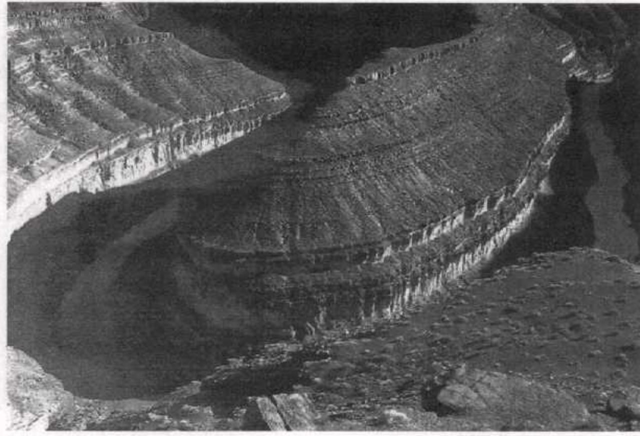
الـــتى تنصـــرف من الجليد المُذاب تكون عملية النحت الرأسى واضحة وتترك الأنهار قيعانها فى صورة مصاطب ، والفرق بين مصاطب الأجزاء الدنيا ومصاطب الأجزاء العليا هو أن الأولى قد تكونت فى الفترات الجليدية بينما تتكون الثانية أثناء الفترات غير الجليدية.



شكل (٣-٣٨) مراحل تكوين المدرجات النهرية المزدوجة

٣- المُنعطفات النهرية المتعمقة Incised Meanders :

تـــتكون المُـــنعطفات المتعمقة فى حالتين أولهما ، عند تعرض النهر لإنخفاض مستوى قاعدته، والحالة الثانية عند تعرض إقليم الحوض النهرى لحركة رفع تكتونية ، ويلجأ النهر فى الحالتين إلى إعادة شبابه وفتوته عن طريق تعميق ثنياه النهرية رأسياً ، حتى يتوافق مقطعه الطولى مع الظروف الجديـــدة ، ولذلـــك تـــتحول الثنيات النهرية Meanders من إحدى الظاهرات الناتجة عن الترســـيب والتى تشير إلى بلوغ النهر لمرحلة الشيخوخة ، إلى ظاهرة تشير إلى النحت والتعميق الرأسى الناتج عن معاودة الشباب (صورتا ٣-١٣ ،٣-١٤) .



صورة (٣-١٣) نهر عاود تعميقه رأسياً فى مُنعطف نهرى نتيجة إنخفاض مستوى القاعدة
(Photo: Danny Vaughn in: Slattery,2003)



صورة (٣-١٤) مُنعطف نهرى مُتعمق
(Photo: Richard Kesel in: Slatter,2003)

٤- أودية أو مجارى غارقة Drowned Valleys – Streams :

تظهر المجارى النهرية الغارقة حينما تتعرض منطقة المصب لإرتفاع مستوى سطح البحر، فتغمر مياه البحر جزء من النهر ، ويــُطلق عليها فى هذه الحالة عدة مصطلحات منها "مدخل بحرى " Inlet ، أو الشرم Sharm ، أو الخور Khour، ويمكن تصنيف المجارى الغرقة إلى عدة أنواع ثانوية وفقا لإختلاف مظهرها المورفولوجى العام هى :

" أ " المصبات النهرية الضيقة القصيرة ، وهى تنتشر فى منطقة كالا Cala بجزر البليار ، وساحل "كالانكى Calanque" الفرنسى ، كما يتمثل هذا النوع من المصبات فى الشــروم sherm - sherum المتــناثرة على سواحل البحر الأحمر فى مصر والسعودية والسودان .

"ب" مصبات الأنهار المتوازية الزجزاجية الشكل Zigzag Vallies على السواحل الطولــية الدلماشية Dalmatian Coasts المنتشرة على سواحل كرواتيا المُطلة على البحر الإدرياتى.

"ج" المصــبات المتسعة التى تعترض مخارجها الحواجز البحرية ، وينتشر هذا النوع من المصبات على سواحل البحر الأسود التركية والروسية .

<u>ثامناً :تأثير التراكيب البنيوية على نظم التصريف النهرى:</u>

يـــُطلق عــلى الأودية النهرية التى تقطع مجاريها تراكيب بنيوية بأنها أودية معترضة وهى تنقسم إلى أربعة أنواع هى :

١- النهر الالتوائى Folded River :

يتفق المجرى الرئيسى لهذا النوع من الأنهار مع محاور الطيات المحدبة ، لأنها تعتبر أضعف أجزاء الإلــتواء ، حيث تتكون العديد من الشقوق الطولية الناتجة عن حركات الشد المصاحبة لطى الطبقات الصخرية .

٢- النهر الإنكسارى Faulted River:

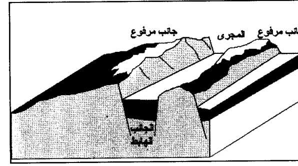
هناك العديد من الأنهار الإنكسارية النشأة تتفق مجاريها الرئيسية أو بعض روافدها مع خطوط الإنكســـار ، سواء الإنكسارات الرأسية البسيطة أو الأخدودية ، ويمكن التعرف على الأنهار الإنكسارية النشأة من خلال بعض المظاهر الجيومورفولوجية أهمها (شكل ٣-٣٩) :

"أ" إمـــتداد المجـــارى الإنكسارية بصورة خطية تكاد تخلو من الثنيات النهرية إذا كانت حديثة النشأة ، ولكن يبدأ فيما بعد المجرى فى عملية الترنح والانثناء مع مراحل تطور النهر .

"ب" إلتقاء الروافد الإنكسارية النشأة بزوايا قائمة ، ولذلك يسود نمط التصريف المتعامد أوالمستطيل .

"ج" تظهر ضفاف المجرى عادة جرفية شبه قائمة .

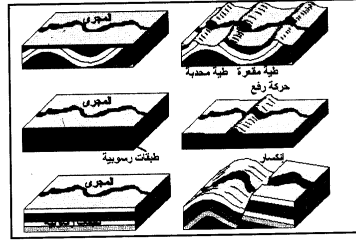
"د" فى حالـــة المجارى النهرية المتكونة عن الإنكسارات الأخدودية تظهر إحدى ضفافها أعلى من الضفة الأخرى للمجرى .



شكل (٣-٣٩) مجرى نهرى إنكسارى النشأة

٣-النهر المـُناضل Antecedent River :

يــــُطلق هذا التعبير على أجزاء من المجارى النهرية تستطيع المحافظة على إتجاهها على الرغم من تعرضـــها لحـــركات الرفع التكتونية ، حيث تؤدى حركة الرفع إلى زيادة الفارق الراسى بين منســـوب مياه تلك الأجزاء وقطاعات النهر الأخرى التى تقع أدنى منها (صوب المصب) ، مما يســـاعد عـــلى ســـرعة جريان المياه فى الجزء المرفوع ، فتنشط بالتالى عملية التعميق الرأسى ، وتستمر عملية النحت الرأسى لمقاومة حركة الرفع حتى يتكون فى تلك المنطقة من المجرى خانق نهـــرى عمـــيق ، يـــُطلق عليه اسم الثغرة المائيةWater – Gap ، ولكن لا يـــُطلق مصطلح الأنهـــار المناضلة على أى مجرى مائى يتمثل به خانق نهرى ضيق وعميق ، ولكن يشترط تكونه عـــن حـــركة رفع تكتونى بطيئة، حيث توجد هذه الظاهرة على أودية نهرية لم تتعرض طوال تاريخها الجيولوجى لأية حركات تكتونية، وإنما تدين فى نشأتها لأسباب أخرى مثل الإنكسارات أو طبـــيعة الـــتكوين الصخرى المقاوم لفعل التعرية ، ومن أمثلة الأنهار المناضلة بعض أجزاء نهر "كلومبـــيا" ، وبعض أنهار نيوزيلندا وخاصة أنهار "وايبارا Waipara"و"هرونوى Horunui" و"أيـــواWoiau" التى تصب جميعاً شرقاً فى المحيط الهادى وتخترق مجموعة من الخوانق المتعمقة (حسن أبو العينين ، ١٩٩٥: ٤٣٤) (شكل ٣-٤٠).



شكل (٣-٤٠) بعض حالات النضال النهرى

٤-النهر المُنطبع Superimposed River :

تعـــرف عملية الإنطباع النهرى بأنها إحدى عمليات النحت الرأسى التى تقوم بها الأنهار محاولة الوصول بمنسوب مياهها إلى منسوب مستوى القاعدة الذى تنتهى إليه تلك الأنهار، ولكن يعمق الوادى المنطبع مجاريه رأسياً فى تكويناته اللينة حتى يصل لنظم بنيوية قديمة لَمْ تكن مكشوفة فى الوقت الذى بدأ فيه الوادى حفر مجاريه ، بل كانت هذه النظم منطمرة تحت سطح الأرض ، وعـــلى ذلـــك يحتفظ النهر بشكل شبكته التصريفية دون تغير ، لكن مع تعميقها رأسياً لتصل للطبقات السفلية ، ومع مرور الزمن قد تتعرض الطبقة العليا لعوامل التعرية وتتلاشى تماما ؛ بعد إنطـــباع النظام النهرى على الطبقة الصلبة القديمة ، وهناك العديد من الأنهار المنطبعة فى العالم ، لعل أبرزها الأنهار التى تشق مجاريها فى الطبقات القديمة فى الجزر البريطانية ، وبعض الأنهار التى تشق إقليم جبال "الروكى" .

تاسعاً : تأثير ميل الطبقات الصخرية على نظم التصريف النهرى :

يعتبر المظهر الجيومورفولوجى للأودية النهرية وشبكاتها التصريفية أحد الأدلة التى تشير إلى طبيعة نشأة هذا النهر وواديه ، وعلى ذلك فإن أودية الأنهار تتصف بصفات جيومورفولوجية تتوقف على عوامل نشأتها ، ويعد ميل الطبقات الصخرية أحد العوامل المهمة التى تؤثر فى المظهر الجيومورفولوجى للنظم النهرية ، وعلى هذا الأساس يمكن تصنيف المجارى النهرية إلى الأنواع الآتية تبعا لتأثير ميل الطبقات الصخرية عليها (جودة فتحى التركمانى ، ٢٠٠٣ :٨٦):

١-المجارى الأصلية Consequent Streams:

يـُطلق هذا المصطلح على المجارى الذى تتبع الإتجاه العام لميل الطبقات Dip ، ولذلك يـُطلق عليها تعبير مجارى ميل الطبقات Dip-Type Streams ، أو الأنهار الأولية Primary Streams، وهى تشمل جميع الأنهار التى تجرى على سطح منطقة ما ظهرت حديثاً فوق سطح الأرض وسقط عليها من الأمطار ما يسمح بجريان أنهار على سطحها فإن هذه الأنهار تعتبر أنهاراً أصلية مهما كان نظام الصخر الذى يتكون فوقه سطح تلك المنطقة .

٢- المجارى التالية Subsequent Streams:

يمتد هذا النوع من المجارى المائية متفقا مع مضارب الطبقات Strike، أى بالتعامد مع ميل الطبقات الصخرية ، ولذلك يـُطلق عليها اسم مجارى المضرب Strike-Type Streams، وتتكون هذه المجارى عادة بصورة تالية لتكوين المجارى الأولية .

٣-المجارى العكسية Obsequent Streams:

تطلق هذه تسمية على الأنهار التى عادة ما تكون روافد للأنهار التالية Subsequent وتسير على منحدر ضد ميل الطبقات الصخرية وموقعه فى الطبيعة يكون على واجهة الكويستا Escarpment المشرفة بهذا الإنحدار على قاع الوادى التالى .

٤-المجارى التلقائية Resequent Streams :

يمــتد هــذا النوع من المجارى النهرية متفقا مع إتجاه ميل الطبقات ، إلا أنها أحدث من المجارى الأولية أو الأصلية ، وتتكون عادة على مناسيب منخفضة وتمثل روافد قصيرة للمجارى التالية ، ولذلــك يــُطلق عليها أحيانا اسم المجارى الأولية الثانوية Secondary Consequent Streams.

٥- المجارى غير التابعة Insequent Streams :

يحفر هذا النوع من المجارى قناته المائية بدون أية ضوابط جيولوجية على الاطلاق ، وتمتد مجارية بصورة عشوائية ليست لها علاقة بإتجاه ميل الطبقات الصخرية .

عاشراً : الأسر (القرصنة) النهرى River Captures:

تعتــبر عملية الأسر النهرى إنعكاسا لإختلاف قوة الأنهار التى تشق أوديتها متجاورة فــوق سطح الأرض ، ويؤدى إختلاف قوة الأنهار، بطبيعة الحال، إلى صراع يبدأه النهر القوى وينــتهى باســتيلائه على أجزاء من النهر الضعيف تاركا بصمات قرصنته على سطح الأرض جيومورفولوجــية واضحة على كل من يابس الأرض ونظام التصريف النهرى ، وهناك العديد مــن العوامــل التى تجعل نهراً أقوى من الآخر تتصل بنوع الصخر ونظامه، وكمية مياه النهر، ومنســوب مستوى القاعدة ، ثم المظهر التضاريسى الذى تجرى عليه هذه الأنهار ، والتى يمكن إيجازها فيما يلى (شكلا ٣-٤١ ،٣-٤٢) :

١- زيادة الفاصل الرأسى للنهر القوى (الآسر) مما يساعد على شدة إنحداره وتسريع جــريانه وقوة طاقته وقدرته على عمليتى النحت والنقل معا ، وقد يرجع هذا إلى إرتفاع مناسيب منابعه العليا أو وقوع مصبه على منسوب أدنى من النهر الضعيف (المأسور) .

٢- زيـــادة كميات المياه التي تجرى فى النهر القوى (الآسر) بالمقارنة بالنهر الضعيف (المأسور) ، وقد يرجع ذلك إلى إختلاف مصادر المياه بالنهرين أو تباين مسامية صخور القاع أو غيرها من العوامل الجيولوجية .

٣- يشـــق الـــنهر القـــوى مجراه على طول مناطق الضعف الجيولوجى مثل خطوط الإنكســـارات والفواصـــل الصخرية أو محاور الطيات المحدبة أو فى صخور أقل مقاومة لفعل التعرية ، مما يؤدى إلى سرعة تطور هذا النهر بالمقارنة بالنهر المأسور.

وتحدث عملية الأسر النهرى خلال المراحل الآتية :

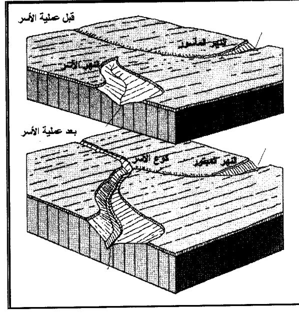
١- يـــتمكن النهر القوى من تنشيط عملية النحت النهرى التراجعى لروافده بصورة أكبر من النهر الضعيف .

٢- إتصـــال أحد روافد النهر القوى بأجزاء من النهر الضعيف ويتمكن من أسرها ، حيـــث يـــتغير إتجاه جريان الحمولة النهرية فى الروافد المأسورة نحو النهر القوى الآســـر، وعلى ذلك تنفصل هذه الروافد كلية من النظام النهرى للنهر الضعيف ، وتضاف للنظام النهرى القوى .

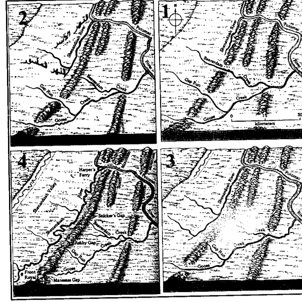
٣- تـــترك عملية الأسر النهرى العديد من الآثار التي تدل على حدوثها أهمها الأدلة والشواهد الآتية :

"أ" كوع الأسر Elbow of Capture : وهو موضع إتصال الروافد المأسورة بالنهر الآسر ، حيث يظهر هذا الجزء من المجرى خانقى ذو حوائط جانبية مـــرتفعة نتيجة زيادة التعميق الرأسى الناجم عن ورود كميات كبيرة من المياه بعد عملية الأسر ، ويمتد المجرى على شكل انثناءة واضحة ذات زاوية قائمة .

"ب" الثغرة الهوائية Wind Gab: جزء مضمحل من المجرى القديم لم تعد تجرى بـــه المياه بعد حدوث الأسر النهرى ، وتظهر عليها بقايا الرواسب الفيضية القديمة .



شكل (٣-٤١) أدلة حدوث عملية الأسر النهرى



شكل (٣-٤٢) مراحل الأسر النهرى

(After: http://www.science.smith.edu/departments/Geology/geomorph/Structure.html)

قائمة المراجع:

أولاً : مراجع باللغة العربية:

١. جودة حسنين جودة ، ١٩٩٦: الجيومورفولوجيا ، دار المعرفة الجامعية ، الإسكندرية، ٦٨٣ ص.

٢. ------------------ ، ١٩٩٧: معالم سطح الأرض ، الطبعة الخامسة ، دار المعرفة الجامعية ، الإسكندرية، ٦٢٨ ص.

٣. ----------------- ، ١٩٩٨: جغرافية البحار والمحيطات ، منشأة المعارف، الإسكندرية، ٥٣٠ ص .

٤. جودة فتحي التركماني ، ٢٠٠٢: جغرافية الأخطار والكوارث الطبيعية ، دار الثقافة العربية، القاهرة، ٢٨٠ ص.

٥. ----------------، ٢٠٠٣: أشكال السطح – دراسة في أصول الجيومورفولوجيا ، دار الثقافة العربية ، القاهرة، ٣٣٦ ص.

٦. حسن سيد احمد أبوالعينين ، ١٩٨٨(أ): أصول الجغرافية المناخية ، الإسكندرية، ٥٥٤ ص .

٧. ------------------- ، ١٩٨٨ (ب): كوكب الأرض ،الطبعة العاشرة ، مؤسسة الثقافة الجامعية، الإسكندرية، ٥٩٦ ص.

٨. ------------------- ، ١٩٨٩: الاقيانوغرافيا – دراسات في جغرافية البحار والمحيطات، الطبعة الثامنة ،مؤسسة الثقافة الجامعية ، الإسكندرية، ٦٦٥ ص.

٩. --------------- ، ١٩٩٥: أصول الجيومورفولوجيا، الطبعة الحادية عشرة ، مؤسسة الثقافة الجامعية ، الإسكندرية، ٧٧٠ ص.

١٠. -------------------، ١٩٩٨:الجغرافية الطبيعية ، مؤسسة الثقافة الجامعية ، الإسكندرية، ٥٨٤ص.

١١. جـــان دركـــو ، جاك باكيه ، ١٩٨٩: الجيولوجيا – مواضيع ومناهج ، ترجمة على مقلد، المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع ،بيروت ، ٦٩٢ص.
١٢. محمد صبرى محسوب ، ١٩٩٨: جيومورفولوجية الأشكال الأرضية ، دار الفكر العربى، القاهرة، ٤٨٤ ص.
١٣. محمد مجدى تراب ، ١٩٩٥: مقالات فى تأثير بناء السد العالى على جيومورفولوجية فرع دمياط ، منشأة المعارف ، الإسكندرية .
١٤. ------------ ، ٢٠٠٣: بحوث فى جيومورفولوجية الأراضى العربية ، منشأة المعارف ، الإسكندرية، ٤١٩ ص.
١٥. محمود محمد عاشور ، وآخرون ، ١٩٩١: السبخات فى شبه جزيرة قطر ، مركز الوثائق والدراسات الإنسانية ، جامعة قطر ، الدوحة.

ثانياً : مراجع باللغة الإنجليزية :

1. Allen, J.R. and Pye,K., 1992, *Saltmarshes, morphodynamics, conservation and engineering significance*, Cambridge University Press,184p.
2. Anderson, M.G., (editor), 1988, *Modelling geomorphological systems:* New York, Wiley, 458 p.
3. Bagnold, R.A., 1971, *The Physics of blown sand and desert dunes*, 3rd. edition, London/
4. Baker, V.R., Kochel, R.C., and Patton, P.C., (editors), 1988, *Flood geomorphology*: New York, Wiley, 503 p.
5. Birkeland, P.W., 1984, *Soils and geomorphology*: New York, Oxford University Press, 372 p.
6. Brown, A.G., (editor), 1995, *Geomorphology and groundwater*: New York, Wiley, 213 p.
7. Budel, J., 1982, *Climatic Geomorphology* (translated by L. Fischer and D. Busche): Princeton, Princeton University Press, 443 p.
8. Bull, W.B., 1991, *Geomorphic responses to climatic change*: New York, Oxford University Press, 326 p.

9. Cooke,R.U., and Warren,A.,1973, *Geomorphology in Deserts*, London.
10. Emery,K.O., 1947, Asymmetrical valleys of San Deigo Country, Calif., Bull.S.Calif.Acad.Sci., 46, 61-71.
11. Fairbridge, R.W., (editor), 1968, *The encyclopedia of geomorphology*: Stroudsburg, PA, Dowden, Hutchinson & Ross, 1295 p.
12. Gerrard, A.J., 1981, *Soils and landforms : an integration of geomorphology and pedology:* Boston, George Allen & Unwin, 219 p.
13. Goudie, A.S., (editor), 1981, *Geomorphological techniques*: Boston, Allen & Unwin, 395 p .
14. Goudie, A.S., and Pye, K., 1983, *Chemical sediments and geomorphology: precipitates and residua in the near-surface environment*: New York, Academic Press, 439 p.
15. Goudie, A.S.(Edit.), 2004, Encyclopedia of Geomorphology, International Association of Geomorphology, New York,1156p.
16. Graf, W.L., (editor), 1987, *Geomorphic systems of North America*: Geological Society of America Centennial special volume 2, Boulder, Colorado, 643 p.
17. Kirkby, M.J., (editor), 1994, *Process models and theoretical geomorphology*: New York, Wiley & Sons, 417p.
18. Leopold, L.B., Wolman, M.G., and Miller, J.P., 1964, *Fluvial processes in geomorphology:* San Francisco, W. H. Freeman, 522 p.
19. Lowe, J.J. and Walker, M.J.C., 1997, *Reconstructing Quaternary environments* (2nd ed.): Harlow, Essex , Addison Wesley Longman, 446 p.
20. Melhorn, W.N., and Flemal, R.C., (editors), 1975, *Theories of landform development*: Binghampton, New York, State University of New York, 306 p.
21. Morisawa, M., 1985, *Rivers:* New York, Longman, 222 p.
22. Richards, K., 1982, *Rivers*: New York, Methuen, 358 p.
23. Richards, K.S., Arnett, R.R., and Ellis, S., (editors), 1984, *Geomorphology and soils*: Boston, G. Allen & Unwin, 441p.

24. Scheidegger, A.E., 1987, *Systematic geomorphology*: New York, Springer-Verlag, 285 p.
25. Schumm, S.A., 1977, *The fluvial system*: New York, John Wiley and Sons, 338 p.
26. Schumm, S.A. and Mosley, M. P., 1987, *Experimental fluvial geomorphology*: New York, Wiley, 413 p.
27. Slattery, M.,(ed.) 2004, *Atlas of Geomorphology on CD*., Christian University, Texas.
28. Thomas, M.F., 1994, *Geomorphology in the tropics : a study of weathering and denudation in low latitudes*: New York, Wiley, 460 p.
29. Thorn, C.E., (editor), 1982, *Space and time in geomorphology*: Boston, Allen & Unwin, 379 p.
30. Thorn, C.E., 1988, *An introduction to theoretical geomorphology*: Boston, Unwin Hyman, 247 p.
31. Thornes, J.B., and Brunsden, D., 1977, *Geomorphology and time*: New York, Wiley, 208 p.

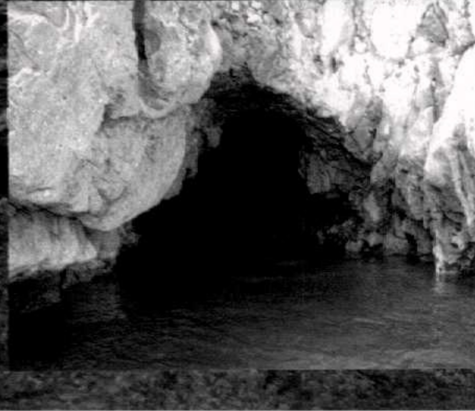
الفصل الرابع

أشكال السواحل

أولاً: العوامل المؤثرة فى تشكيل السواحل.

ثانياً: أنماط السواحل:

النمط الأول: السواحل القارية النشأة.
النمط الثانى: السواحل البحرية النشأة.
النمط الثالث: سواحل النشاط العضوى.



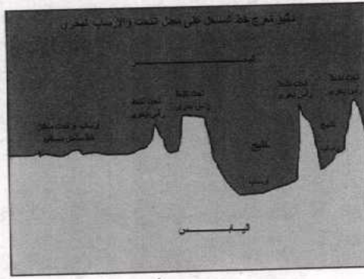
الفصل الرابع
أشكال السواحل

أولاً : العوامل المؤثرة فى تشكيل خط الساحل:

تتميز التعرية البحرية عن جميع عوامل التعرية الأخرى فى أن مجال عملها يتركز فى نطاق اتصال اليابس بالبحر الذى يطلق عليه تعبير ساحل البحر ، ويتأثر خط الساحل بعدد من العوامل تحدد مدى تعرضه لعمليات النحت أو الارساب البحرى ، ويمكن تقسيم هذه العوامل إلى مجموعتين هما :

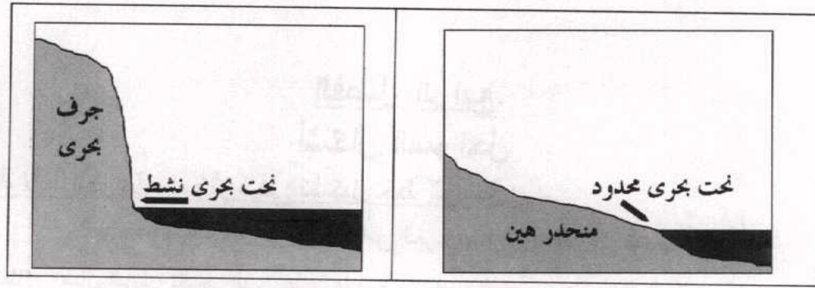
المجموعة الأولى : طبيعة المنطقة الساحلية :

١- شكل خط الساحل ومدى تعرجه وتوجيهه بالنسبة للأمواج السائدة ، فخطوط السواحل المتعرجة تشتد تعرية رؤوسها المتوغلة فى البحر ، على حين يزداد الترسيب داخل خلجانها ، كما تتأثر بالطبع المناطق الساحلية المواجهة للأمواج السائدة فيتسارع تراجعها أمام هجمات الأمواج (شكل ٤-١).



شكل (٤-١) تأثير شكل خط الساحل ومدى تعرجه على تحديد عمليات التعرية السائدة

٢- درجة انحدار المنطقة الساحلية وخاصة الجروف البحرية الأكثر تعرضا لهجمات الأمواج، وكذلك إرتفاع هذه الجروف فكلما انخفضت هذه الجروف ازدادت فرصة نحتها بالأمواج (شكل ٤-٢) .



شكل (٤-٢) تأثير درجة إنحدار المنطقة الساحلية على تحديد نوع العمليات السائدة

٣- صلابة الصخور ودرجة تحملها لنحت الأمواج ميكانيكياً (الناتج عن إصطدام الأمواج) ، وكيميائــياً (الناتج عن تفاعل الصخور مع مياه البحر) ، ولعل ساحل "ظفار" بسلطنة عُمان المُطــل عــلى بحــر العرب ، وساحل منطقة "سسكس" Sussex جنوب المملكة المتحدة ، وســواحل انجلــترا المُطلــة على بحر الشمال من أفضل الأمثلة لتراجع السواحل نتيجة ضعف تكويناتها الطباشيرية .

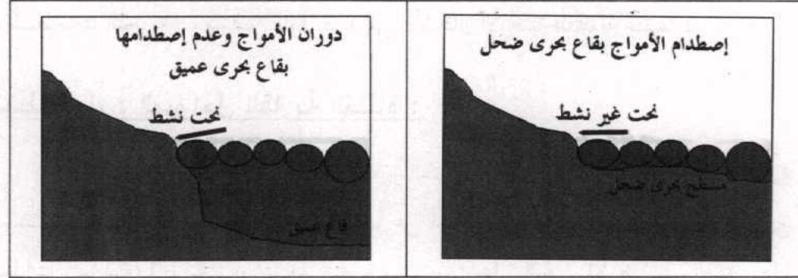
٤-البنــية الجيولوجــية للمــنطقة الساحلية ومدى تأثرها بالانكسارات والالتواءات وأنظمة الفواصــل، إذ يســهل نحر الحافات ذات الفواصل المتقاربة ، وكذلك العلاقة بين زاوية ميل الطبقات وتوجيه خط الساحل ، فحينما تميل الطبقات نحو خط الساحل يسهل نحتها بالامواج، أمــا الطــبقات المائلة نحو اليابس يصعب نحتها بفعل الأمواج وتظل صامدة فترات زمنية أطول نسبيا (صورة ٤-١).



صورة (٤-١) صورة مُركبة لساحل إلتوائى النشأة تعرض محوره للتعرية الساحلية النشطة

٥- الغطــاء النباتى للمنطقة الساحلية من حيث نوعه (غابات ،شجيرات ، حشائش) ومدى كثافــته ، حيــث يســاعد الكساء النباتى الكثيف على حماية السواحل إلى حد ما من غوائل الأمواج.

٦- عمق المياه أمام خط الساحل فالمياه الضحلة تعمل على تكسير الأمواج وإستنــزاف طاقتها قــبل وصــولها للشاطئ ، بينما تساعد المياه العميقة على وصول الأمواج بطاقتها كاملة فيعظم تأثيرها التحاتى (شكل ٤-٣).



شكل (٤-٣) تأثير عمق المنطقة الساحلية على سهولة دوران الأمواج

٧- نــوع الصخور على القاع أمام خط الساحل ودرجة مقاومته لعمليات النحت البحرى ، ومدى توافر المواد الرسوبية التي يمكن نقلها وترسيبها بالأمواج على الساحل .

المجموعة الثانية : حركة مياه البحر وتغير مستواه :

١-**فعل الأمواج** : من حيث قوتها ، وإرتفاعها ، وموسميتها ، وتوجيهها بالنسبة لخط الساحل.

٢- **تــيارات المــد والجزر** : ومدى تأثرها بتعرج خط الساحل ، وضحولته ، والموقع الفلكى والجغرافى للساحل .

٣- **التيارات البحرية** : من حيث قوتها ونوعها وتوزيعها الجغرافى ، ومدى تأثر هذه التيارات بالرياح الدائمة .

٤- **الذبذبـــات فى منســـوب سطح البحر** التى تحدد النطاق الذى يتأثر بالتعرية البحرية نحتاً وترسيباً .

ثانياً : أنماط السواحل :

تنقسم السواحل وفقاً لإختلاف عوامل نشأهّا إلى نمطين أساسيين هما :

النمط الأول : السواحل القارية النشأة التى تتكون نتيجة عوامل قارية أى تنشأ على اليابس .

النمط الثانى: السواحل البحرية النشأة التى تتكون نتيجة عوامل بحرية أى تنشأ بتأثير حركة المياه فى المسطحات البحرية . وسوف نتناول فيما يلى الأشكال الأرضية المتكونة عنهما :

النمط الأول : السواحل القارية النشأة :

أقترح شيبرد (shepard, 1963) تعبير السواحل القارية النشأة ، أو السواحل الأولية أو الشـــابة، عـــلى خطوط السواحل التى تنشأ عن العوامل الغير بحرية ، سواء كانت ناتجة عن العمليات (الباطنية) الجوفية ، أو عوامل التعرية التى تحدث على اليابس الأرضى ، ويصنف هذا النمط من السواحل للأنواع الآتية:

(أ) سواحل النحت القارى والإنغمـــار البحرى:
Sub-aerial Denudation and Submerged Coasts :

تنشـــأ هـــذه السواحل عن عوامل التعرية القارية وعمليات الإغراق البحرى الذى حدث بسبب الغمر البحرى Marine Transgression ، نتيجة الإرتفاع العام فى منسوب سطح الـــبحر على الكرة الأرضية ، بسبب إنصهار الجليد المصاحب لإرتفاع درجة حرارة الكوكب الأرضى خلال عدة أدوار متعاقبة منذ عصر البلايستوسين وحتى وقتنا الحاضر، ويتميز هذا النوع من السواحل بتأثير عمليات النحت التى تقوم بها عوامل التعرية القارية، إلى جانب انغمار خط الساحل بمياه البحر بسبب إرتفاع منسوبه، ويمكن تصنيفه إلى الأشكال الآتية :

١- سواحل مصبات الأودية النهرية (سواحل الريا) Ria Coasts:

أصل المصطلح أسبانى أطلق فى أول الأمر على ساحل إقليم ريا فى شمال غرب أسبانيا، وتم تعمـــيمه فيما بعد على المصبات الخليجية للأنهار حينما تغرق نتيجة إرتفاع منسوب سطح البحر ، وتبدو " الريا " على شكل خلجان Bays ، أو مداخل بحرية Marine Inlets قُمعية الشكل ، تتميز بإتساع مخارجها بالنسبة لأجزائها الداخلية الضيقة الضحلة ، ويصب فى كل " ريـــا " مـــنها أحـــد الأنهار أو الأودية شبه الجافة ، حيث تلتقى المياه المالحة البحرية مع المياه العـــذبـــة الـــنهـــريـــة.

وقـــد صنف بوليج (Bauling , 1956) سواحل الريا الى عدد من الأنواع الثانوية المتباينة من حيث المظهر المورفولوجى العام فيما يلى :

" أ " **سواحل المصبات الضيقة القصيرة** : وأبرز مثال لها فى منطقة "كالا Cala " بجزر البلـــيار، وساحل "كالانكى Calanque" الفرنسى ، كما يتمثل هذا النوع من الريا فى الشروم Sherum –Sherm المتناثرة على سواحل البحر الأحمر فى مصر والسعودية والســـودان ، وقد ميز الكاتب عدد منها على الساحل الغربى والشرقى لخليج العقبة فى مصـــر والسعودية ، وأشهرها الشرم الواقع الى الجنوب من جزيرة "فرعون" بالقرب من مدينة طابا .

"ب" الســـواحل الطولية الدلماشية Dalmatian Coasts :المنتشرة على سواحل يوغوســـلافيا السابقة ، والتى تتميز بسواحلها الجبلية المقطعة بالأودية الإلتوائية المتوازية ، وهى تبدو بالمظهر الزجزاجى Zigzag Vallies .

"جـــ" ســـواحل المصبات المتسعة : التى تعترض مخارجها الحواجز البحرية ، ويطلق علـــيها تعبير "ساحل ليمان Liman Coasts" المأخوذ عن اللغة التركية ويعنى البحيرة الساحلية Lagoon، ويرجع سبب التسمية للتشابه بين مظهر هذه المخارج النهرية التى تعترضها الحواجز البحرية وبين البحيرات الساحلية الطولية الموازية لخط الساحل ، وينتشر هذا النوع من المصبات على سواحل البحر الأسود التركية والروسية.

أمـــا إذا أعترض المصب النهرى حواجز مكونة من الإرسابات الفيضية فيطلق عليه فى هذه الحالة تعبير سواحل "ليمان" الفيضية Fluvial Liman Coasts ، ويتمثل هذا الـــنمط فى دلـــتا "الدانوب" على ساحل البحر الأسود ، وبالساحل الشرقى للولايات المـــتحدة الأمريكـــية ، وخليج المكسيك ، وحيث تعمل تيارات المد والجزر على إعادة تشكيل الرواسب الفيضية وتكوين الحواجز الرسوبية أمام مصب النهر .

" د " ســـواحل المصبات المنخفضة المنسوب : وهو أقرب الأنماط للدلالة على مصطلح ســـواحل المصـــبات الخليجـــية Estuary Coasts ، ولعـــل خلـــيج "تشسيابيك Chesapeake" الفرنسى من أبرز الأمثلة لهذا النوع من سواحل الريا.

٢- سواحل مصبات الاودية الجليدية (سواحل الفيوردات) Fiord Coasts:

أصـــل المصـــطلح نرويجى ويطلق على مصبات الأودية الجليدية الغارقة التى تتميز بعدة خصائص جيومورفولوجية أهمها:

" أ " يشكل الفيورد ذراعاً مائياً متوغلاً داخل اليابس.

"ب" يتمـــيز بعمـــق قاعـــه وخاصة عند اجزاءه الداخلية نتيجة اصطدام الكتل الجليدية المنفصلة عن الثلاجة بالتالى وخاصة خلال الفترات الباردة من عصر البلايستوسين .

"جــــ" تتميز بعض الفيوردات بإتجاهاتها المستقيمة العمودية على الساحل مما دفع بعض الباحثين لترجيح النشأة الانكسارية لهذه الفيوردات .

"د" تحيط بالفيورد جروف شبه حائطية مرتفعة مقطعة بالعديد من الاودية المُعلقة القديمة النشأة.

"هــ" يبدو القطاع العرضى للفيورد على شكل حرف U نتيجة احتكاك الجليد المتحرك بجوانبه الحائطية .

"و" ترتبط الفيوردات بالسواحل الغربية للقارات فى نصف الكرة الارضية الشمالى والسواحل الشرقية فى نصفها الجنوبى ، بسبب انصهار الكتل الجليدية وانفصالها عن جسم الثلاجة عند تلامسها بالتيارات البحرية الدفيئة المارة أمام سواحلها.

"ز" تغطى مخارج الفيوردات حواجز أو عتبات مغمورة مكونة من الارسابات الجليدية . تنتشر الفيوردات على السواحل الغربية للنرويج وأسكوتلندا وجزيرة جرينلاند وأمريكا الشمالية ، وعلى السواحل الشرقية لنيوزيلندا وأمريكا الجنوبية .

"ح" تتشابه كل من الريا والفيورد فى نشأتهما كمصبات غارقة إلا ان الأول له روافد نهرية متصلة بالمصب بصورة مباشرة وعلى نفس المنسوب ، بينما يصب الوادى الجليدى فى الفيورد من منسوب شاهق كوادٍ مُعلق Hanging Valley ، وإذا انتهى الوادى الجليدى عند المصب على منسوب منخفض أطلق عليه فى هذه الحالة اسم فيارد Fiard أو Fjard.

٣ – سواحل الكارست الجيرية karst coasts :

ينشأ هذا النوع من السواحل حيثما تتركب المنطقة الساحلية من الأحجار الجيرية ، أو الطباشير ، أو الدلوميت ، أو الجبس ، بشرط أن تتأثر المنطقة بالأمطار الغزيرة ، أو المياه السطحية الجارية ، وإرتفاع منسوب الماء الباطنى ، مما يساعد على تشكيل أحد الأنماط النادرة لمظهر سطح الأرض ، بسبب تأثير فعل الاذابة النشطة للأحجار الجيرية ، ويؤدى الى تكوين العديد من الأشكال الجيومورفولوجية الكارستية على طول خط الساحل مثل : الفجوات والتكهفات والنتوءات وحفر الإذابة الدائرية ، والبرك والبحيرات والأنهار الغائرة وغيرها من الأشكال الأرضية .

ويتكون هذا النمط من السواحل فى مناطق الكارست فى كرواتيا وسواحل جنوب إيطاليا المُطلة على البحر الادرياتى (صورة (٤-٢) ، والعديد من المناطق الجيرية الاخرى مثل سواحل غرب "فلوريدا" ، وبصفة خاصة على سواحل جزر "الباهاما" والساحل الجنوبى لتركيا، وسواحل محافظة "ظفار" فى سلطنة عُمان المُطلة على بحر العرب .



صورة (٤-٢) كهف كارستى تكون عند أقدام جرف بحرى فى منطقة Marina Serra بجنوب إيطاليا
(تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)

(ب) سواحل الإرساب القارى Sub-aerial Deposition Coasts :

ينشـــأ هـــذا النمط من السواحل عن عمليات الارساب التى تتشكل بواسطة عوامل الـــتعرية القارية ، ولكن قد تسهم العوامل البحرية فى إعادة تعديل المظهر المورفولوجى للمواد الرسوبية المُستمدة من اليابس ، ويمكن تصنيف هذا النوع من السواحل للأشكال الآتية :

١- سواحل الإرساب النهرى Fluvial Deposition Coasts :

يـــتكون هـــذا النمط من السواحل بتراكم الرواسب الفيضية على حساب تراجع خط الساحل وينشأ بتأثير الحالات الأتية :

"أ" سواحل الدلتاوات (الدالات) Deltaic coasts

تتكون الدلتاوات أوالدالات النهرية حيثما تزداد كمية الرواسب التى ينقلها النهر ويلقى بها عـــند مصـــبه البحرى ، بالمقارنة بحجم الرواسب التى يتمكن البحر من إزالتها عن القاع بفعل

الأمواج وحركات المد والجزر والتيارات البحرية. (Shepard, 1971:11). ويمكن إيجاز أهم الظروف الطبيعية الملائمة لتشكيل الدالات البحرية فيما يلى (جودة ، ١٩٨٩ :١٥٨) :

١- عظم الحمولة النهرية ودقة حجم حبيباتها.
٢- بطء جريان المياه بالجزء الأدنى من النهر.
٣- وصول النهر لمرحلة متقدمة من دورته التحاتية مما يساعد على تراكم الرواسب بالقرب من خط الساحل وعدم دفعها إلى الأعماق البعيدة للبحر بسبب ضعف الطاقة النهرية .
٤- هدوء منطقة المصب من الأمواج العاتية والتيارات البحرية النشطة وحركات المد والجزر.
٥- قلة أو إنعدام وجود البحيرات التى تعترض المجرى النهرى حتى لاتترسب على قيعانها الرواسب ، مثلما يحدث فى دلتا النيل بعد بناء السد وإنحباس الرواسب الفيضية فى بحيرة ناصر.
٦- أن تكون منطقة المصب ضحلة ولاتتعرض لحركات الهبوط التكتونى فى حتى تظهر الإرسابات النهرية فوق مستوى سطح البحر ولاتهبط تدريجيا وتنغمر بالمياه.

وتأخذ الدالات النهرية عدة أشكال فمنها الدلتا المثلثية الشكل ، التى يتقوس خط الساحل عند شواطئها بسبب تراكم الرواسب النهرية على حساب المسطح البحرى، مثل دلتا نهر النيل والرون فى البحر المتوسط (صورة ٤-٣)، ودلتا "الجانج" و"إيراوادى" فى خليج البنغال، و"السند" فى البحر العربى ، ودلتا "البو وتاجليمنتو" فى البحر الإدرياتى.

وقد تأخذ الدلتا الشكل المُدبب Cuspate ، إذا كانت الأمواج تهب بصورة موسمية وتشتد التيارات البحرية فى نفس الوقت، كدلتا نهر التيبر التى تنمو على شكل رأس بحرى متوغل فى البحر التيرانى ، كما تبدو بعض الدالات على شكل قدم الطائر Bird's Foot مثل دلتا نهر "المسيسبى" المتوغلة فى خليج المكسيك كمجموعة أصابع تتخللها بعض الخلجان أو المداخل البحرية ، بسبب زيادة الإرسابات النهرية وضعف الأمواج بالقرب من خط الساحل.

ويظهــر مــن العــرض السابق أن بعض الــدالات تــتكون من مخرج نهرى واحد يتقدم فى البحر وتحيط به الإرسابات النهرية تدريجيا ، بينما تتشكل بعض الدلتاوات من عــدة مخارج متقطعة مثل دلتا نهر الرون ، كمــا أن هناك بعض الدلتاوات تتفرع إلى عدد من القنوات النهرية مثل دلتا النيل التى لم يبق منها فى الوقت الراهن سوى فرعين مــنهم (صورة ٤-٣)، بل أن فرع دمياط يــتعرض حالــيا للإطماء ومنذ بناء السد العــالى ، إلى جانب تعرض دلتا النيل لفعل الــنهر البحرى ، والتأكل، والتراجع مرة أخــرى ، بعد التحكم فى الإرسابات التى كــان يلقــى بها النهر فى البحر المتوسط وتخزينها فى بحيرة السد العالى ، مما أدى إلى تــراجع مصبى فرع رشيد ودمياط بمعدل يصــل لــنحو ٤٠ مــتر فى العام الواحد (المؤلف ، ١٩٩٥).



صورة (٤-٣) مرئية فضائية لساحل دلتا النيل مأخوذة من مكوك الفضاء

وتعــد دلتا نهر الفولجا من أكثر الدالات النهرية نمواً ، حيث يصل معدل تقدمها على حســاب بحر قزوين أكثر من ١٧٠متر فى السنة ، وذلك بسبب هدوء أمواجه وضحولة قاعه. وعلى النقيض من ذلك يضعف معدل نمو دلتا الجانج بسبب عمق منطقة المصب ، وقد لاتتكون دلتا مطلقاً فى بعض الأنهار وإذا كانت مصباتها شديدة العمق مثل نهرالكونغو ، أو بسبب مرور تيارات بحرية قوية مثل مصب نهر الأمازون (Bird,1970:185).

ويمكن إطلاق مصطلح دالة أو دلتنا نهرية على المراوح الفيضية التى قامت ببناءها أودية شبه جافة فى المســطحات الــبحرية المفــتوحة ، إلا أنها تكونت خلال مناخات قديمة كانت أكثر مطراً من

الوقت الراهن ، حيث يتشابه تركيبها الرسوبى والمرفولوجى مع الدالات النهرية الحالية (صورة ٤-٤).



صورة (٤-٤) دلتا (مروحة فيضية) عند مصب أحد الأودية الجافة المُقطعة لحافة إنكسارية على الساحل السعودى المُطل على خليج العقبة

"ب" سواحل السهول الفيضية Alluvial Plains Coasts :

قد لاتتوافر فى بعض المصبات النهرية مجموعة الظروف الطبيعية الملائمة لتشكيل الدلتاوات ، وبذلك تنتهى المخارج النهرية بقناة واحدة تحيطها الإرسابات الفيضية ، وقد تتأثر المنطقة الساحلية بتشكيل الجسور الطبيعية Natural Levees ، والمستنقعات الساحلية Coastal Swamps ، والحواجز الرملية Sand Ridges ، والإرسابات الفيضية Fluvial Deposits ، وخاصة فى السهول الساحلية المتاخمة لمخرج النهر.

وتتشكل الجسور الطبيعية عن طريق تراكم الرواسب النهرية على ضفتى المجرى أثناء موسم الفيضان ، الناتج عن بطء سرعة جريان التيار النهرى مع زيادة حجم الإرسابات المنقولة أثناء الفيضان ، مما يساعد على رفع منسوب الضفتان تدريجيا كحواجز موازية لضفتى القناة النهرية ، وخلال وقت التحاريق تقل كمية الرواسب المنقولة ، وينخفض منسوب المياه فى المجرى فيعمل على إطماء قاعه ورفع منسوبه ، وبذلك يرتفع منسوب المجرى النهرى عن مستوى سهله الفيضى ، مما يهدد المناطق الزراعية بالأخطار الناتجة عن إجتياح المياه لجسورها أثناء الفيضانات المرتفعة.

ويعد نهر "الهوانجهو" من أبرز الأنهار ذات المناسيب المرتفعة بالنسبة لسهولها الفيضية ، وكـــثيرا ما يحطم ضفافه ويغرق الأراضى الزراعية بالقرب من مصبه عند شبه جزيرة شانتونج الصـــينية ، كمـــا يهدد مصب نهر الراين الأراضى الهولندية المنخفضة المُطلة على بحر الشمال ، وتنتشـــر أيضا المستنقعات الساحلية، والحواجز الرملية ، بالقرب من مصب نهر " أوريمبا كريك Ourimbah Greek" عـــند بحـــيرة "توجيرا Tuggerah " الساحلية ذات المدخل البحرى المفتوح على المحيط الهادى ، على الساحل الشرقى لاستراليا ، كما تسهم تيارات المد والجزر فى إعـــادة توزيع الإرسابات الفيضية المختلطة بالإرسابات البحرية بالقرب من مخارج الأنهار حيث تتخللها بعض المستنقعات الملحية (Bird, 1970:189).

٢- سواحل الإرساب الجليدى Glacial Deposition Coasts :

تنشـــأ سواحل الإرساب الجليدى عند مواضع إلتقاء هوامش الغطاءات الجليدية (خط الثـــلج الدائم) بخطوط السواحل ، حيث يعمل إنصهار الجليد على ترسيب كميات كبيرة من الحطـــام الصـــخرى والمفتـــتات بمختلف الإحجام (جودة ، ١٩٨٩: ٢٦٤) . ويمكن تصنيف الأشكال الأرضية الناجمة عن الترسيب الجليدى بالقرب من خط الساحل إلى شكلين هما :

"أ" سواحل الركامات الجليدية Morainic Coasts :

وهى نطاقات ساحلية تنتشر بها بعض الحواجز أو التلال الطولية الهلالية الشكل، تتميز بانخفـــاض مناسيبها وتعرجها وتقطعها فى الأجزاء التى أنصهر الجليد ونفذ من خلالها ، وتمتد هذه التلال بصورة عمودية تقريباً على خط الساحل فى معظم الأحيان ، وتتصف المواد المكونة لها بعدم التجانس والتصنيف.

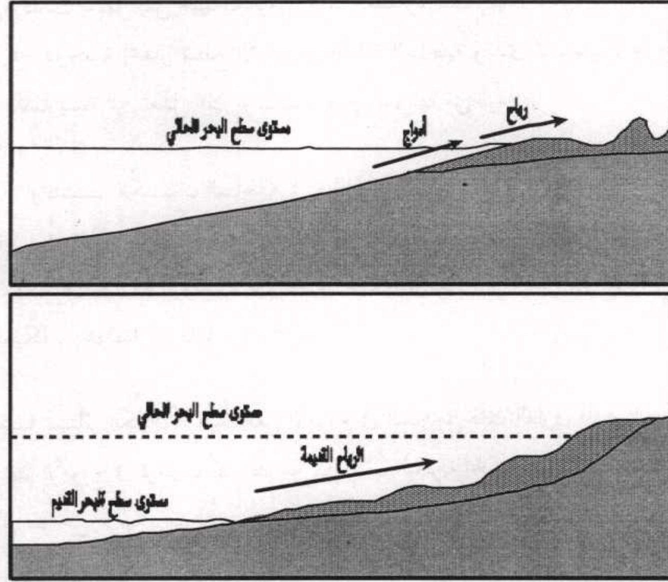
"ب" سواحل التلال الجليدية Drumlin Coasts :

أصـــل المصـــطلح أيرلـــندى وهو يعنى التل الجليدى الناتج عن الركامات الأرضية أو السفلية ، وتظهر هذه التلال كحافات بيضاوية متطاولة الشكل ، تشير إلى إتجاه حركة الجليد قبل انصهاره (جودة ، ١٩٨٩ :٢٦٥).

وينتشـــر هذا النوع من التلال الجليدية على سواحل بعض الجزر المتناثرة بالقرب من السـاحل الشـمالى الشرقى للولايات المتحدة الأمريكية ، وخاصة جزيرة "لونج أيلند Long Island" ، وعـلى تخـوم ميناء "بوسطن Boston" ، وخاصة شاطئ منطقة "فانتاسكت Nantasket Beach" (Shepard ,1971 :81).

٣- سواحل الإرساب بفعل الرياح Aeolian Deposition Coasts:

يتشـكل هـذا الـنمط من السواحل عن طريق تراكم التجمعات الرملية بتأثير النقل بالرياح ، ولكن قد يكون مصدر هذه الرمال هو المسطح البحرى نفسه ، حيث تقوم الأمواج بإرساب الحبيبات الرملية على الشاطئ ، فتعمل الريح على إعادة تشكيلها مرة أخرى (شكل ٤ -٤)، وقـد يكون اليابس القارى هو مصدر الرواسب الرملية ويقتصر دور الرياح على نقلها لمنطقة الشاطئ ، ولعل أبرز الأشكال الأرضية التابعة لهذا النمط ما يلى :



شكل (٤-٤) مراحل إعادة تشكيل الرواسب البحرية القديمة (الشكل السفلى)
بالرياح الحالية (الشكل العلوى)

"أ" سواحل الكثبان الرملية Sand Dunes Coasts :

تتشـــكل ســـواحل الكثـــبان الرملية حينما تتجمع الإرسابات الهوائية على السواحل مباشـــرة، ويتوقف حجم وشكل هذه الكثبان وإمكانية تكوينها على مجموعة من العوامل أهمها:

١- طبـــيعة التركيب الصخرى للمنطقة الساحلية ومدى توافر الرمال وقدره الرياح على نقل حبيباتها.

٢- إتجاه وسرعة الرياح السائدة فى المنطقة وعلاقة إتجاه الرياح بتوجيه خط الساحل.

٣- نســـبة الرطوبة الجوية حيث تؤدى زيادة الرطوبة إلى تماسك حبيبات الرمل وبالتالى قدرتها على مقاومة نقلها بالرياح.

٤- طبيعة حبيبات الرمال من حيث الحجم ، فالرمال الدقيقة الحبيبات من السهل نقلها ، وكذلك يسهل نقل حبيبات الرمل الأكثر إستدارة.

٥- درجـــة إنحدار سطح الأرض فى المنطقة الساحلية ومدى تضرسها ، ووجود العوائق التضاريسية التى تعمل على إرساب الرياح لحمولتها من الرمال.

وتنتشـــر الكثـــبان الساحلية فى مناطق متعددة من العالم وخاصة على السواحل ذات الفـــارق المدّى الكبير ، حيث يطغى البحر على الرواسب الرملية أثناء فترات المد العالى ، وتنكشـــف هـــذه الرواسب مرة أخرى أثناء حدوث الجزر ، مثل سواحل بحر الشمال فى بلجيكا ، وهولندا ، والمانيا ، والدنمارك .

كمـــا تـــتأثر الكثبان الرملية بفعل الأمواج فى السواحل ذات الفارق المدى البسيط ، حيث تســـهم الأمواج فى ترسيب كميات من الرواسب البحرية الجيرية على الكثبان الهوائية النشأة ، مـــثل سواحل غرب وجنوب شرق إستراليا ، وسواحل غرب افريقيا، وبعض بقاع متفرقة من ســـواحل الولايـــات المتحدة الأمريكية سواء المُطلة على المحيط الأطلس أو الهادى ، وسواحل المملكة المغربية المُطلة على المحيط الأطلسى (صورة ٤-٥) .



صورة (٤-٥) كثبان رملية ساحلية جنوب مصب نهر أم الربيع فى المحيط الأطلسى بالمغرب
(تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٣)

ويمكـــن تصـــنيف الكثبان الساحلية Classification of Coastal Dunes للأشكال الآتية:

هـــناك العديد من المحاولات التى أجريت لتصنيف الكثبان الساحلية ، وقد أعتمد كل تصنيف منها على دراسة مناطق محدودة من سواحل العالم ، وأهم هذه المحاولات : تصنيف فان ديـــرين (Van Dieren, 1934) ، الـــذى أعتمد فى تصنيفه على دراسة السواحل الألمانية ، وتصـــنيف بريكيه (Briquet, 1923) للسواحل الفرنسية ، وتصنيف شو (Schou, 1945) لسواحل الدنمارك ، وتصنيف ستيرز (Steers, 1964) لسواحل الجزر البريطانـــية ، تصنيف كوبـــر (cooper, 1928) فى أمـــريكا الشمالية ، وجيلشر (Guilcher, 1928) لسواحل غرب أفريقيا ، وتصنيف سميث (Smith, 1924) الذى أعتمد فى تصنيفه على عدد من المناطق الساحلية ولذا أتصف بالشمولية ، حيث قسم الكثبان الساحلية للأنماط الآتية (صبرى محسوب ، ٢٥٣:١٩٨٦):

١- الكثبـــان الأولـــية Primary Dunes : ويتشكل هذا النمط من الكثبان بواسطة الرمال المنقولة من الشاطئ أو البلاج ثم تتراكم على خط الساحل ، وينقسم هذا النمط إلى شكلين هما :

الشـــكل الأول: الكثـــبان الأولية الحرة مثل الكثبان العرضية Transverse Dunes والكثبان المنحرفة Oblique Dunes ، وغالبا ما تتعامد هذه الكثبان على إتجاه الرياح السائدة فى مناطق تشكيلها.

الشكل الثانى: الكثبان الرملية المقيدة ويرتبط تشكيل هذا النوع من الكـــثبان بالنباتات، ويظهـــر عادة خلف الشاطئ ومن أشكالها كثبان الجبهات **Dunes Frontal**، وأرصفة الكثبان الرملية **Dunes Platforms Sand**.

٢- الكثبان الثانوية Secondary Dunes : يشتق هذا النوع من الكثبان رماله عادة من الكثبان المقيدة ويعاد تشكيلها من جديد بالنقل بالرياح ، وتصنف إلى شكلين هما :

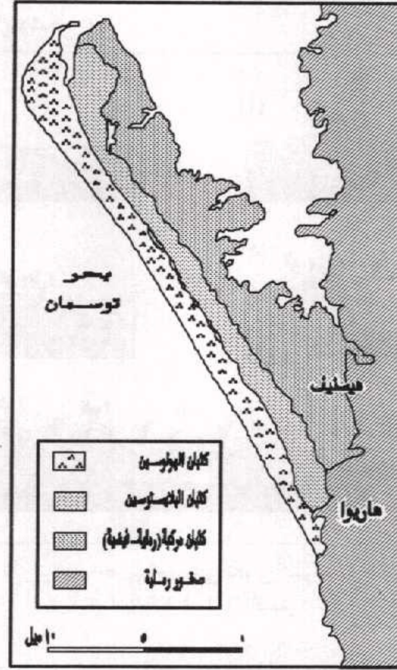
الشكل الأول : الكثبان المقطوعة (المقتطعة) Parabolic Dunes وتشمل الكثبان الطولية والفرشات الرملية.

الشـــكل الثانى: الكثبان المتحجرة Lithified Dunes وتشمل الكثبان الرملية المتماسكة الحبيبات سواء الرملية أو الجيرية (سوف نتناولها فى الفقرة التالية).

"ب" سواحل الكثبان المتحجرة (الحفرية) Lithified Dunes Coast :

تتكون الكثبان المتحجرة من الأحجار الرملية أو الجيرية فى معظم الأحوال ، وقد تشكلت هذه الكثبان خلال فترات زمنية قديمة من تجمع الرواسب الرملية الريحية أو الجيرية البحرية المصدر ، وأســـهمت الـــرياح فى تراكمها ككثبان موازية لخط الساحل ، وعملت مياه الأمطار خلال

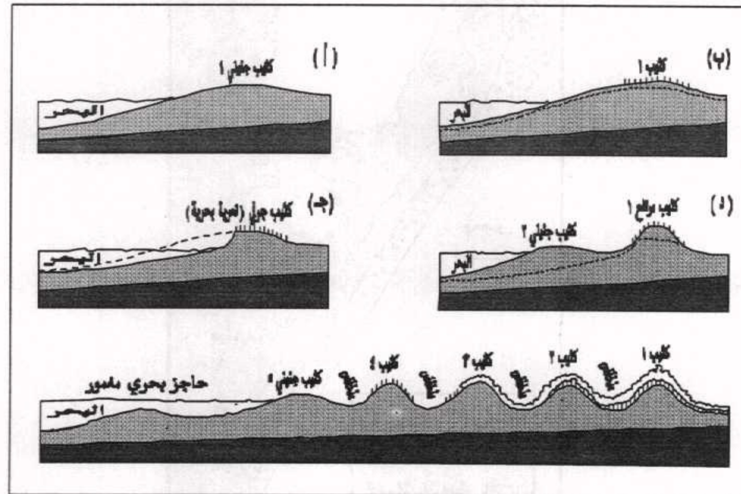
الفـــترات المطيرة على إذابة كربونات الكالسيوم الموجودة بحبيبات الرمل ، واستخدامها كمادة لاحمـــة لحبيبات الرمل وتقليل الفراغات البينية بين حبيباتها ، كما يساعد نمو الغطاءات النباتية الكثـــيفة فـــوق الكثبان على استقرارها ، خاصة مع توافر ظروف إنباتها خلال الفترات المطيرة (شكل ٤-٥).



شكل (٤-٥) كثبان ساحلية متحجرة (حفرية) قديمة

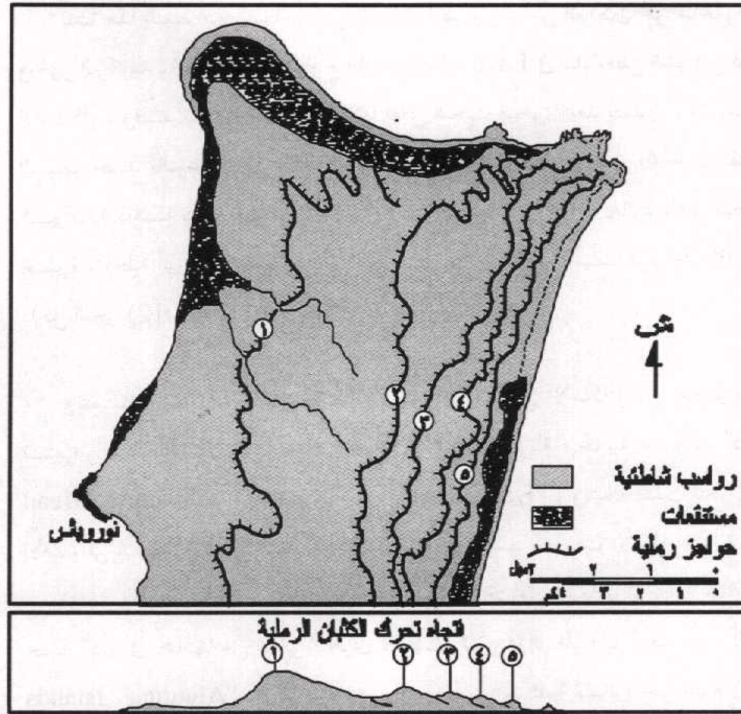
ومـــن أهم أمثلة الكثبان الرملية المتحجرة مجموعة السلاسل التلالية الممتدة على طول ســـاحل إقلـــيم مريوط ، من مدينة الإسكندرية شرقا وحتى مدينة السلوم غربا ، بطول حوالى ٥٠٠ كـــيلو متر ، تمتد خلالها كثبان الحجر الجيرى البطروخى بصورة موازية لخط الساحل بلا انقطـــاع ، وتحصـــر السلاسل الثلاث فيما بينها مجموعة من المنخفضات أو الأحواض الطولية المـــتوازية مـــن ناحية والموازية للسلاسل التلالية وخط الساحل من ناحية أخرى ، كما تنتشر

الكثبان المتحجرة على سواحل جنوب أفريقيا ، وجزر الباهامـــا ، والبرازيـــل ، وإكـــوادور، والســـاحل الغـــربى لشبه القارة الهندية فى إقليم راجستان ، حيث أثبتت الدراسات أنها كثبان مـــتخلفة من أعصر قديمة ، وخضعت لفترتى جفاف ، انتهت الفترة الأولى منهما بتكوين تربة حمراء على أسطح هذه الكثبان، بينما انتهت الفترة الثانية بحدوث عملية التكلس لتكويناتها (على موسى ، ١٩٨٦ : ١٥٤) (شكل ٤-٦).



شكل (٤-٦) تأثير تراجع خط الساحل على تكوين مجموعة من الكثبان الساحلية
الموازية لخط الساحل المتقهقر

كمـــا مـــيز المؤلف بقايا بعض التلال الرملية الحفرية Calcarenite Dunes على الســـفوح الشـــمالية للجبل الأخضر المواجهة للبحر المتوسط ، المنطقة المحصورة بين مدينة درنة ومدينة سوسة فى ليبيا ، وهى تشكلت من تراكم الرواسب الرملية بفعل الرياح ثم غمرها البحر خـــلال الفترات الدفيئة من عصر البلايستوسين ، كما استخدمت بقايا الكثبان الرملية القديمة المتناثرة على سواحل جزيرة "كنجارو Kangaroo Island" والسواحل الجنوبية لأستراليا فى دراســـة وربـــط مناســـيب سطح البحر القديمة عن طريق تتبع ومضاهاة بقاياها ، وتفيد هذه الدراسات فى تتبع مراحل تطور الكثبان الساحلية فى المنطقة (شكل٤-٧).



شكل (٤-٧) مجموعة كثبان ساحلية متوازية تكونت على شكل حواجز بحرية ثم تراجع عنها خط الساحل

(ج) سواحل ناتجة عن العوامل الباطنية (الجوفية) Tectonic Coasts :

تتشـــكل بعض السواحل نتيجة عدد من العوامل التكتونية (الجوفية) التى تحدث على الـــيابس الأرضـــى ، ولكـــنها تسهم فى تنوع أشكال السواحل ، ويمكن تصنيفها إلى الأنماط الأتية:

١- سواحل الثورانات البركانية Volcanic Explosion Coasts :

ينشأ هذا النمط من السواحل عن إنسياب المصهورات من البراكين نحو ساحل البحر، والجزر البركانية ، حيث تسهم مراوح اللافا Lava Fans فى بناء بعض الشواطئ المقوسة الشكل ، وقد تتعرض أنسيابات اللافا لفعل النحت البحرى بعد تصلبها ، وتسمح لمياه البحر حينئذ بالتوغل داخل النطاق البركانى ، بل وقد تخترق فى بعض الأحيان الفوهات البركانية ذاتها نتيجة هبوطها ، وينشأ عنها خلجان دائرية متسعة غائرة داخل اليابس أو بحيرة ساحلية أى عكس الرؤوس الأرضية الدائرية الناتجة عن إنسياب مراوح اللافا البارزة داخل البحر (Shepard ,1971:12).

وتتمثل سواحل المصهورات البركانية على سواحل آلاسكا وجزر هاواى، حيث تتعرض اللافا القديمة لفعل النحت البحرى لفترة زمنية طويلة ، خاصة عند رأس "دياموند Diamond Head" ، وفى جزيرة "أوهو Oahu Islsnd" ، ونتيجة لذلك تتكون بعض الأقواس البارزة داخل البحر التى إستطاعت أن تصمد لهجمات الأمواج العاتية ، كما ساعدت الظروف الطبيعية لهذه المنطقة على نمو نطاقات من الشعاب المرجانية ساهمت إلى حد كبير فى حمايتها من النحر البحرى ، حيث تبدو دوائر المرجان تحيط بجزر "ألوشيان Aleutian Islands" ، ولازالت بعض المخروطات البركانية ثائرة حتى اليوم فى بعض جزرها (صورة ٤-٦).

كما ساهمت اللافا فى بناء مروحة بركانية عظيمة المساحة على سواحل جزر هاواى، ونجحت المياه السطحية فى شق مجارٍ لها عبر هذه المروحة ، قبل أن تصب فى المحيط مكونة دلتا بركانية Volcanic Delta مقطعة بالمجارى المائية.



صورة (٤-٦) حمم بركانية متصلبة على سواحل جزيرة فولكانو شمالى جزيرة صقلية الإيطالية
(تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)

ونستنتج مما سبق أن سواحل الثورانات البركانية تصنف إلى نمطين هما:

"أ" سواحل تجمع اللافا والمصهورات البركانية وهى تكون بارزة فى داخل البحر
Volcanic Deposition coasts

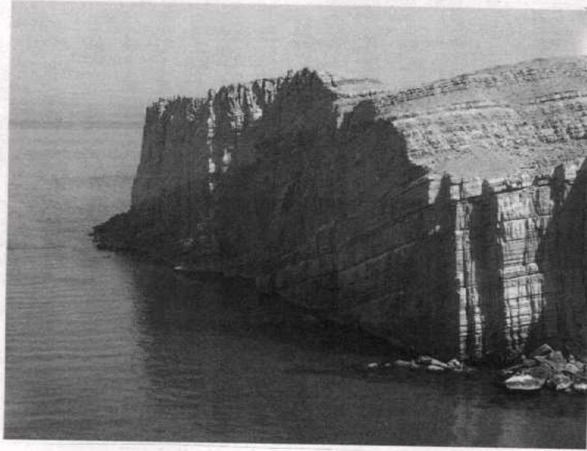
"ب" السواحل المقعرة الناتجة عن الإنبثاق البركانى
Concave coasts Formed by Volcanic explosion

.

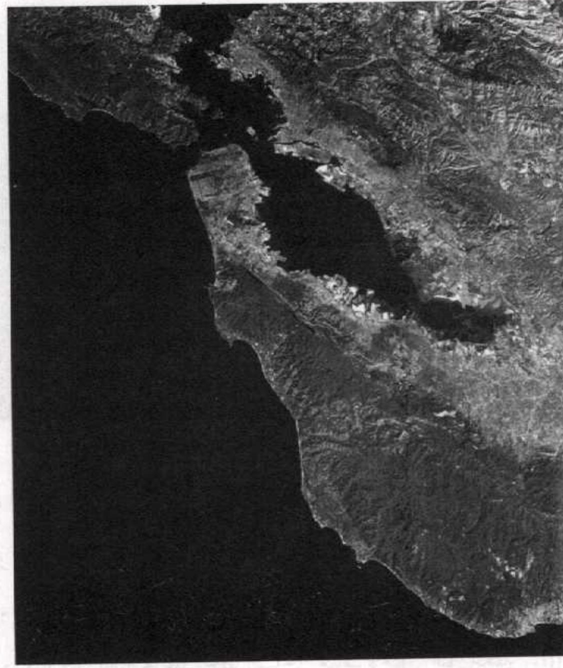
٢- السواحل الإنكسارية **Faulted Coasts** :

تتشكل السواحل الإنكسارية فى مناطق الضعف الجيولوجى ، حيث يبدو خط الساحل بصـــورة خطـــية مستقيمة ، وتحدده مجموعة من الجروف البحرية ، وتحذذها الشقوق والثلوم الغائـــرة الرأســـية ، التى تشير إلى حدوث عملية الإنكسار القديمة ، وغالبا ماتتأثر هذه الحواف بآثار النحت البحرى بفعل الأمواج ، حيث تمثل هذه الحافات الجانب المرفوع من الإنكسار ،

على حين يغمر الجانب الهابط من الإنكسار تحت قاع المسطح البحرى ، وينتشر هذا النمط من السـواحل فى كثير من جهات العالم ، مثل معظم أجزاء السواحل الغربية للأمريكتين ، وبعض أجزاء الساحل السورى المُطل على البحر المتوسط ، وسواحل خليج العقبة ، وبقاع متفرقة من سواحل البحر الأحمر (صورة ٤-٧ ، صورة ٤-٨).



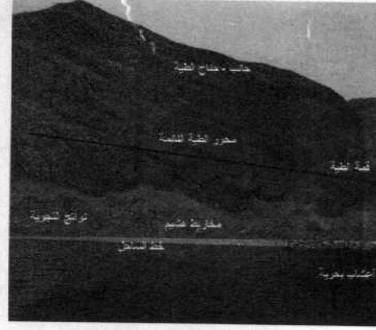
صورة (٤-٧) جُرف بحرى إنكسارى النشأة (تصوير المؤلف فى فبراير ٢٠٠٢)



صورة (٤-٨) مرئية فضائية لساحل "سانت أندرياس" الانكسارى

٣- السواحل الإلتوائية Folded Coasts :

ترتبط الســواحل الإلتوائيه بنطاقات الضعف الجيولوجى أيضا ، وهناك عدة أشكال للسواحل ترجع فى نشأهما إلى حدوث عملية الطى والإلتواء ، وأهمها الإلتواءات وحيدة الميل التى تعمل على بروز الرؤوس الأرضية داخل المسطحات البحرية ، مثل مجموعة الرؤوس المتوغلة فى البحر المتوسط فيما بين مدينتى الإسكندرية والسلوم ، وأهمها "رأس الحكمة" ، ورأس "علم الروم" ، و"رأس أم الرخم" وغيرها ، وقد تسهم الإلتواءات الغاطسة فى تشكيل السواحل ، حيث تغوص الأجزاء الهابطة من الإلتواءات تحت مستوى سطح البحر ، وتمثلها جهات متفرقة من ساحل خليج "العقبة" جنوبى مدينة" طابا" ، ومنطقة "المعجنة" شمالى مدينة "نويبع" بحوالى ٨ كم (صورة ٤-٩).



صورة (٤-٩)
صورة مُركبة توضح إلتواء مضجع بمنطقة المعجنة بالقرب من مدينة نويبع فى جنوب سيناء
(تصوير المؤلف فى ١٩٩٩)

٤- سواحل القباب الملحية Coasts of Salt Domes :

تبدو القباب الملحية الحديثة النشأة على شكل تلال يتباين إرتفاعها بين بضعة أمتار إلى أكــثر من ٥٠ متر فى بعض الأحيان ، وتتميز بإنحداراتها وخطوط تصريفها المائى الإشعاعية ، وقد تشرف هذه التلال القبابية على خط الساحل مباشرة مثل "التل الكبير Big Hill" بولاية تكساس الأمريكية الذى يطل على خليج المكسيك بمنسوب حوالى ٣٥ قدم وقطره ١,٥ ميل ، وتــل "باربــرز Barber's Hill" الذى قطع شوطا أكبر فى دورته التحاتية ، حيث تمكنت عوامــل الــتعرية مــن تســوية قمــته القبابية التى يصل منسوبها إلى حوالى ٨٠ قدم، وقبة "الويلد Weald Dome" الــتى قطعت شوطا أكبر من مراحل تطورها الجيومورفولوجى المُطلة على القنال الإنجليزى جنوبى مدينة لندن.

أمــا القــباب التى قطعت شوطا متقدما فى دورتها التحاتية ، فقد تتحول إلى أحواض دائــرية الشــكل، بعــد تمكــن عوامل التعرية من تخفيض مناسيبها كإحدى صور الإنقلاب التضاريســى ، وتظهــر عادة بعيدة عن المناطق الساحلية ، وتتميز بخطوط تصريفها المركزى ،

وتحيط بها مجموعة من حافات أظهر الخنازير Hog-backes ، وإذا غمرت هذه الأحواض بمياه البحر بإنها تبدو على شكل خلجان بحرية دائرية الشكل .

النمط الثانى : أشكال السواحل البحرية النشأة Marine Coasts :

(أ) سواحل النحت البحرى Marine Denudation Coasts :

فيما يلى عرض لخصائص أهم أشكال النحت البحرى :

١- الجروف البحرية Marine Cliffs:

يطلق مصطلح الجرف البحرى على الحافة الصخرية التى تشرف على البحر مباشرة بإنحدار يتراوح بين ٤٥ ، ٩٠ درجة ، وتلاطم الأمواج عادة أسافل هذه الحافات، وتسمى فى هذه الحالة بالجرف النشط أو الحى ، أما إذا كانت الحافة بمنأى عن تأثير النحت البحرى فيطلق عليها تعبير الجرف الساكن أو الميت، وعلى ذلك تنقسم الجروف البحرى إلى نوعين هى :

"أ" جروف بحرية نشطة Active Marine Cliff:

تتأثر الجروف البحرية النشطة بفعل النحت بالأمواج عند حضيضها ولذا تتراجع خلفيا ، وتظهر على سفوحها أنماط مختلفة من أشكال حركة المواد بتأثير الجاذبية الأرضية مثل الزحف والإنزلاق والتساقط ، كما تظهر أوجه هذه الجروف مكشوفة وتتعرض لعوامل النحت البحرى ، ويصنف (جودة ، ١٩٨٩ : ٤١٩) الجروف إلى عدة أنواع هى(صورة ٤-١٠):

١- جروف الصلصال الرأسية.

٢- الجروف المتأثرة بالإنزلاقات الأرضية ذات الطبقات المسامية المنفذة التى تعلو طبقة أخرى صماء تميل فى إتجاه البحر.

٣- الجروف الرأسية ذات الصخور المتجانسة ويتراكم أسفلها مخاريط الهشيم الناتجة عن التساقط الصخرى (شكل ٤-٨).

٤- الجروف المدرجة (السلمية) التى تتكون فى الطبقات الصخرية الأفقية المتعاقبة المكونة فى الصخور الصلبة والضعيفة المقاومة ، وينتج عنها جروف سلمية الشكل.

٥- الجروف المشطوفة وهى التى تتألف من نطاقين العلوى منهما يتكون من منحدرات مغطاه بالكساء النباتى ويقع أسفلها نطاق آخر جرفى يتأثر بالنحت البحرى.

٦- جروف تميل طبقاها فى إتجاه البحر وتبدو بصورة مسننة بتأثيرالنحت.

٧- الجروف الوعرة وهى تتشكل فى الصخور الضعيفة المقاومة لعوامل النحت البحرى.



صورة (٤-١٠) جُرف بحرى نشط على سواحل منطقة "المغسيل" جنوب مدينة "صلالة" بسلطنة عُمان (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)



شكل (٤-٨) تأثير النحت بالأمواج على الجروف البحرية

"ب" جروف بحرية مستقرة Stable Marine Cliff :

عـــبارة عن جروف صخرية تشرف على الساحل مباشرة ، وتتراكم على أسفالها مخاريط الهشيم فتعمل على حمايتها من نحت الأمواج ، وتبدو منحدراها بصورة محدبة بسبب تراكم الرواســـب على سفوحها ، ويتمثل هذا النوع من الجروف على الحافات المتأثرة بانخفاض مستوى سطح البحر خلال عصر البلايستوسين .

٢ - الرؤوس البحرية والخلجان والشروم :

Marine Headlands , Bays and Coves:

تـــتكون الرؤوس البحرية والخلجان نتيجة تعرجات خطوط السواحل ، وتبرز الرؤوس داخل البحر بسبب عدة عوامل نحصرها فيما يلى :-

" أ " رؤوس بحـــرية ليثولوجـــية Lithological Marine Headlands: تنشأ عن صلابة بعض التكوينات الصخرية أمام عوامل النحت البحرى .

"ب" رؤوس بحـــرية بنـــيوية Structural Marine Headlands: تنشأ عن بعض التراكيـــب البنـــيوية مـــثل الثنيات وحيدة الجانب Mono Clinal Folds مثل مجموعة الـــرؤوس البحرية البارزة على طول ساحل إقليم "مريوط" : "رأس الحكمة" ، رأس "علم الـــروم" ، رأس" أم الرخم" ، رأس "مرسى جرجوب" وغيرها ، وقد تتكون الرؤوس أيضاً نتيجة الثنيات المحدبة والإنكسارات الممتدة بصورة عمودية على إتجاه خط الساحل .

"ج" رؤوس بحرية تنشأ بسبب ضعف عوامل النحت البحرى الذى يحدث نتيجة ضحالة المنطقة الشاطئية ، أو نظم الرياح السائدة بالإقليم ، أو مسارات التيارات البحرية وعلاقتها بتوجيه خط الساحل وغيرها من العوامل .

وتحصر الرؤوس البحرية فيما بينها بعض الخلجان شبه الدائرية أو القمعية الشكل ، التى يتحدد شكلها وإتساعها ودرجة توغلها فى اليابس ودرجة تقوس سواحلها بسبب إختلاف العوامل المساهمة فى تشكيل كل خليج منها .

٣ - الرصيف البحرى التحاتى Wave - Cut Platforms :

يرتـــبط تشـــكيل الرصـــف البحرى التحاتى بتراجع الجروف صوب اليابس ، نتيجة عملـــيات النحـــت الـــبحرى بالأمواج ، والتقويض السفلى لقواعد الجروف البحرية ، وتتميز الأرصفة البحرية بإستوائها وصقلها نتيجة احتكاك الأمواج بأسطحها ، وتنحدر بصفة عامة نحو

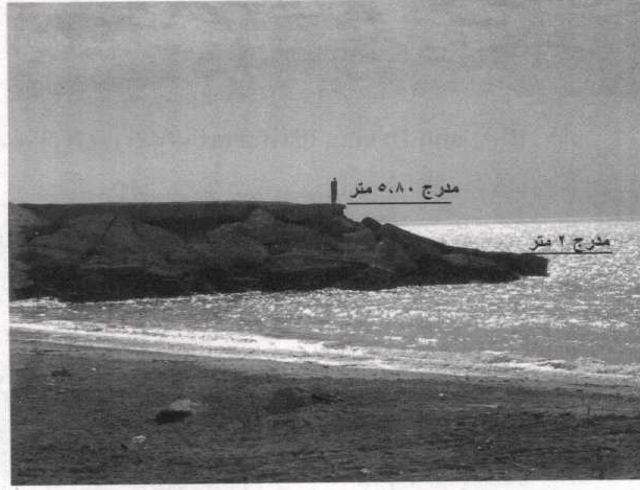
البحر إنحداراً هيناً . وتنتشر على أسطح الأرصفة البحرية المواد الصخرية الناتجة عن تآكل الجرف وتتحرك هذه المواد مع إندفاع الأمواج نحو الجرف ، ثم تتراجع مرة أخرى مع إنحسار المياه ، فتسهم بالتالى فى زيادة صقل الرصيف وتسويته (صور من ٤- ١١ إلى ٤-١٤) .



صورة (٤-١١) رصيف وثغرة ناتجة عن تراجع جرف بحرى بمنطقة "عجيبة" غرب مدينة "مطروح" (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٢)



صورة (٤-١٢) رصيف بحرى تحاتى قديم يظهر أسفله كهف بمنطقة " Torre dell' Orso " جنوب إيطاليا (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)



صورة (٤-١٣) رصيفان بحريان على ساحل جزيرة "قشم" الإيرانية
(تصوير المؤلف فى مارس ٢٠٠٢)

ويــتوقف مــدى إتســاع الرصيف البحرى على عدد من العوامل التى سبق معالجتها فى الصــفحات الســابقة ، ويتحدد بناءا عليها مدى إتساع الرصيف ، وعندئذ يضمحل النحت الــبحرى ويتوقف إتساع الرصيف ليصل بذلك إلى مرحلة التــوازن الديناميكــى Dynamic Equilibrium ، وهناك العديد من أمثلة الأرصفة البحرية المتسعة وأهمها أرصفة جنوب إنجلترا وشمــال فرنســا ، وأرصفة خليج "أبولو" على السواحل الجنوبية لأستراليا المكونة فى الأحجار الرملية الجوراسية ، كما تصنف الأرصفة البحرية إلى عدة أنواع حسب إختلاف العوامل المؤثرة فى تشكيلها (Bird, 1970:61-77) وهى : -

" أ " الأرصفة المدِّية Tidal - Platforms:

وهــى الأرصفة المنحدرة من مستوى المد العالى فى إتجاه البحر ، وتنشأ هذه الأرصفة نتيجة فعل الأمواج الديناميكى ، واصطدام الأمواج العاتية بصخور الجرف الضعيفة ، مما يساعد

على إقتلاعها ، خاصة إذا كانت الخصائص الليثولوجية والبنيوية للصخور تسمح بزيادة معدل نحتها .

"ب" أرصفة الرطوبة والجفاف Wetting and Drying Platforms:

وهـــى الـــتى أطلـــق علـــيها بـــيرد (Bird) تعـــبير أرصفة التجوية المائية Water Weathering Platforms بســـبب توالى عمليات غمر الصخور بمياه البحر ، ثم إنحسارها عـــنها وجفافهـــا ، كما يساعد إرتفاع الأمواج على تحديد مساحة المنطقة المتأثرة بفعل المياه الكيمـــيائى ، كما تسهم مسامية الصخر ، والظروف المناخية السائدة فى تحديد سرعة جفاف الصخر من المياه ، فالصخور المنفذة للمياه الخشنة الحبيبات والتى تميل طبقاتها ميلا خفيفا فى إتجاه البحر ، تساعد على زيادة معدلات البحر وجفاف الصخر ، وبالتالى تجويته ، خاصة إذا كانت هذه الجروف فى مناطق مرتفعة الحرارة (صورة ٤-١٥).

"ج" أرصفة الإذابة والنحت الحيوى Solution And Bioerosion Platforms:

أطلق بيرد (Bird) على هذا النوع من الأرصفة تعبير أرصفة المد المنخفض Low Tide Platforms ، وتتشكل هذه الأرصفة فى الصخور الجيرية الحفرية ذات المظهر الكثيبى الـــتى تـــرجع لعصـــر البلايستوسين ، وتتكون نتيجة فعل إذابة مياه البحر للتكوينات الجيرية ، وخاصـــة الشواطئ ذات الفارق المدى المحدود ، ويبدو هذا النوع من الأرصفة على السواحل الجنوبـــية الغربـــية لأســـتراليا حول مدينة "بيرث" ، وعلى سواحل البحر المتوسط بين مطروح والسلوم، ومنطقة الجبل "الأخضر" فى ليبيا ، وشمال مدينة اللاذقية على الساحل السورى وحتى قرية "أم الطيور" (صورة ٤-١٦) .



صورة (٤-١٤) رصيف حديث لايزيد إرتفاعه عن متر واحد على ساحل "كلبا" بالإمارات (تصوير المؤلف فى أكتوبر ٢٠٠٢)



صورة (٤-١٥) رصيف بحرى تحاتى يتعرض لفعل الرطوبة والجفاف بالقرب من منطقة "الروشة" فى بيروت بلبنان (تصوير المؤلف فى يوليو ٢٠٠٢)



صورة (٤-١٦) رصيف بحرى تحاتى يظهر أسفله رصيف إذابة تحت مستوى مياه البحر فى منطقة "عجيبة" غرب مدينة "مطروح" (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٢)



صورة (٤-١٧) رصيف بحرى تحاتى يتأثر بفعل النحت الحيوى بالطحالب والأشنات البحرية جنوبى مدينة بيروت بلبنان (تصوير المؤلف فى يوليو ٢٠٠٢)

كمـــا تتكون الأرصفة البحرية كذلك نتيجة النمو المرجانى وعمليات النحت فى الشعاب المرجانية القديمة والطحالب البحرية والأشنات ، وهى التى يطلق عليها الأرصفة الحيوية ، وينتشر هذا النوع من الأرصفة على سواحل جزر هاواى بالمحيط الهادى ، وساحل منطقة "كوينزلاند" بأستراليا ، وساحل البحر الأحمر فى مصر ، وسواحل لبنان (صورة ٤-١٧).

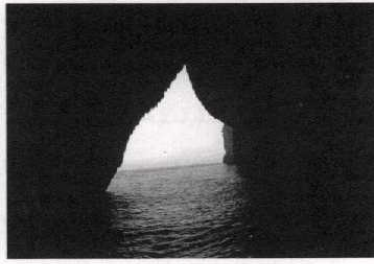
٤ - الفجوات البحرية Notches:

الفجوات البحرية عبارة عن حزوز أو ثلوم أفقية غائرة فى قواعد الجروف عند مواضع اصطدام الأمواج بها والتى تتفق مع مستوى المد العالى ، وتتشكل هذه الفجوات الموازية لمستوى ســطح الــبحر داخـــل صـــخور الجرف البحرى ، وتنمو باستمرار نتيجة الفعل الهيدروليكى لاصـــطدام الأمواج بأسفل الجرف ، مما يساعد على تكوين بدايات الأرصفة البحرية التى تتسع باطراد على حساب الجرف المتراجع .

٥ - الكهوف البحرية Marine Caves :

تعـــد الكهـــوف الـــبحرية إحـــدى الأشـــكال الثانوية الناتجة عن تراجع الكهوف الـــبحرية ، وتتشـــكل الكهوف على طول نطاقات الضعف الجيولوجى عند قواعد الجرف، وتنشـــأ عـــن إصطدام الأمواج بها ، فتنهش الصخور القابلة للنحت مكونة نتوءات وفجوات دائـــرية صـــغيرة الحجم ، ما تلبث أن تتسع تدريجيا حتى تتحول إلى حجرات غائرة فى الحافة الجرفـــية ، وتتمـــيز هذه الكهوف بإتساع فتحاتها المواجهة لفعل الأمواج وتضيق كلما إتجهنا للداخـــل ، كما يظهر على أسقفها تأثير التفاعل الكيميائى بين مياه البحر والصخر خاصة إذا كان نوع الصخر قابل للتفاعل والذوبان فى المياه ، ومع نشاط عمليات النحت البحرى كثيراً ما يـــؤدى زيـــادة توغـــل الكهف فى الحافة الجرفية إلى إنهياره، ويتحول بالتالى إلى مدخل بحرى Marine Inlet .

وتنتشر الكهوف البحرية فى جهات متعددة مــن الســواحل مثل سواحل "سسيكس Sussex" وشــرق "كنــت Kent" فى إنجلترا ، وجنوب غرب أستراليا ، وجزيرة "كابرى" الإيطالية ، وجزر "أوركنى" شمال اســكتلندا ، والجبل "الأخضر" فى ليبيا ، ومــنطقة "عجيــبة وأبــو لهــو ومرسى جــرجوب" غربى مطروح ، وساحل قرية "أم الطــيور" عــلى الساحل السورى ، وبالقــرب مــن ســاحل مدينة "مسقط" بسلطنة عُمان (صورتا ٤-١٨، ٤-١٩).



صورة (٤-١٨) مدخل كهف بحرى جنوب مدينة" أترانتو Otranto" الإيطالية
(تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)



صورة (٤-١٩)
كهف ومصطبة بحرية فى جزيرة " هيلبر Hilbre " بالقرب من مدينة "ليفربول" ببريطانيا
(تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٢)

٦ – الكبارى الطبيعية ([1]) والأقواس والأنفاق البحرية :

Natural Bridges , Marine Arches and Channels :

الأقــواس أو الكبارى البحرية هى فجوات متقابلة محفورة فى الجروف البحرية بصورة مــتقابلة ، بحيث تعمل الأمواج على إلتقائها معاً ، ليشكلا فجوة ممتدة فى الصخر، وترتبط هذه

[1] – قد تنشأ الكبارى الطبيعية بمناطق الكارست الجيرية أو بالنحت الريحى ، أو النحت النهرى ، وأيضا نتيجة عمليات الــتجوية الميكانيكــية النشطة مثل الكوبرى الطبيعى بولاية أوتاه الأمريكية المكونة فى الصخور الجوراسية المتأثرة بفعل التقشر (Fairbridge, 1968 : 766)

الفجـــوة عـــادة بالعيوب الصخرية سواء الليثولوجية " أى ترتبط مع الصخور ضعيفة المقاومة لعوامل النحت ، أو التركيبية أى تمتد مع أحد الفواصل أو الشقوق الصخرية الرأسية " ، ويُطلق تعبير نفق بحرى حينما تمتد الكبارى الطبيعية مسافة كبيرة داخل الكتلة الصخرية ، ولكن مصير الكـــبارى الطبيعـــية هـــو إنهيارها أمام هجمات الأمواج وتأثير فعل الإذابة برذاذ مياه البحر ، وعندئذ تتحول إلى مسلة بحرية .

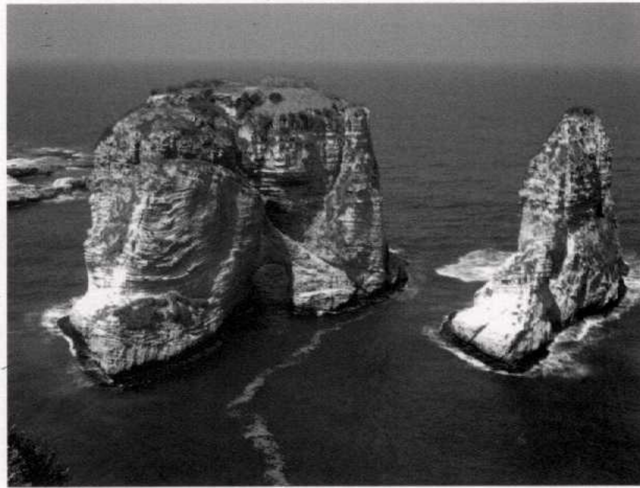
ومـــن أشهر الأقواس البحرية تلك المتمثلة بمنطقة "دورست Dorest" جنوبى إنجلترا ، وساحل "ليفربول" فى بريطانيا ، والساحل الجنوبى لأستراليا ، وسواحل شبه الجزيرة الإيطالية ، وسواحل كرواتيا المُطلة على البحر الإدرياتى ، وصخرة "الروشة" على ساحل "بيروت" اللبنانى، وساحل مدينة "مسقط" ، إلى جانب مواضع متفرقة من ساحل الجبل "الأخضر" فى ليبيا (صورتا ٤-٢٠ ، ٤-٢١).

٧ - الثقوب الإنفجارية (الخيشوم الساحلى) Blow - Hole :

تنشـــأ الـــثقوب الانفجارية عند تضاغط الفعل الديناميكى للأمواج داخل الكهوف البحرية حينما يتصادف وجود أحد الشقوق أو الفواصل الرأسية داخل الكهف، فيعمل تضاغط فعـــل الأمواج على توسيع الشق أو الفاصل حتى تخرج المياه على هيئة رذاذ من سطح الأرض. وتتمـــثل هذه الظاهرة الفريدة على شواطئ جزر "الباهاما" ، وميزها المؤلف على ساحل البحر المتوســـط شرقى بلدة "النجيلة" غربى مطروح وساحل منطقة "المغسيل" جنوب مدينة "صلالة" فى سلطنة عمان (صورة ٤-٢٢).



صورة (٤-٢٠) قوس بحرى مكون فى الأحجار الرملية فى جزيرة " هيلبر Hilbre " بالقرب من مدينة "ليفربول" ببريطانيا (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٢)



صورة (٤-٢١) القوس البحرى الشهير المقابل لمدينة "بيروت"
(تصوير المؤلف فى يوليو ٢٠٠٢)



صورة (٤-٢٢) ثقب إنفجارى على ساحل منطقة المغسيل جنوب مدينة صلالة بسلطنة عمان (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)

٨ - المسلات البحرية :

Marine Stacks - sea Needles – Pillars – Chimney Rocks:

أصل المصطلح مأخوذ عن اللغات المحلية لبعض الجزر الاسكندنافية ، حيثما تنتشر هذه الظاهرة ، وهى عبارة عن أعمدة من الصخور الناتئة كجزر فى البحر ومتاخمة للجروف البحرية، وتنشأ عن تراجع هذه الجروف ، وتساقط أسقف الأقواس والكبارى أمام هجمات الأمواج ، ومصير هذه المسلات أيضا هو النحت و التآكل تماما ، على الرغم من مقاومتها لفعل النحت البحرى فترات زمنية طويلة ، إلا أنها هى الأخرى تتعرض للانقسام والتآكل والتفتيت ، وخاصة حينما تكتشف الأمواج مواطن الضعف الجيولوجى عند أسافلها فتعمل على نهشها وإلتهامها ، وقد يطلق تعبير الأعمدة البحرية Marine Pillars أو المداخن البحرية Marine Chimney على المسلات الطويلة المحدودة القطر (صورة ٤-٢٣).



صورة (٤-٢٣)
مسلة بحرية بمنطقة "العقة" على ساحل خليج عُمان بالإمارات ، يبدو عند أقدامها مدرج بحرى لا يتجاوز منسوبه ١٧٠ سم
(تصوير المؤلف فى فبراير ٢٠٠٢)

٩- المداخل البحرية Marine Inlets :

يعـــبر هذا المصطلح على ممر مائى ضيق يتداخل فى اليابس وكثيرا ما يتأثر بتيارات المد والجزر ، وقد ينشأ المدخل البحرى عن إنهيار أسقف الكهوف البحرية أمام هجمات الأمواج ، كمـــا ترتـــبط المداخـــل البحرية أيضا بمصبات الأنهار ، والأودية الجليدية. وعلى ذلك تصنف المداخل للأنماط الآتية تبعا لإختلاف أسلوب نشأتها (صورة ٤-٢٤):

" أ "المداخل البحرية الإنكسارية Faulted Marine Inlets :

تنشأ عن الإنكسارات وخاصة إذا كان خط الإنكسار عمودى على إتجاه خط الساحل، ويكون المدخل البحرى أكثر عمقا فى حالة الأغوار الصدعية .

"ب" المداخل البحرية الإلتوائية Folded Marine Inlets :

تتكون المداخل البحرية الإلتوائية نتيجة الضغط الناتج عن شد الطبقات الصخرية الملتوية مما يعمل على ظهور بعض الشقوق الطولية المرتبطة بمحور الالتواء ، فتصبح هذه الشقوق فريســـة ســـهلة أمـــام هجمات الأمواج ، فيسهل إزالتها وتداخل أذرع من المياه داخل اليابس.

"ج"المداخل البحرية الليثولوجية Lithological Marine Inlets :

قـــد تتشـــكل المداخل البحرية بالإرتباط مع بعض التكوينات الجيولوجية ضعيفة المقاومة لفعل النحت البحرى ، فسرعان ما تتآكل مكونة ممر مائى ضيق متوغل باليابس.

" د " المداخل البحرية النهرية Fluvial Marine Inlets :

يرتـــبط هذا النوع من المداخل البحرية مع مصبات المجارى النهرية سواء كانت دائمة الجريان أو موسمية أو حتى شبه جافة ، مثل المداخل المنتشرة غربى مرسى مطروح لأودية "عجيـــبة والحشايفى" ، وأودية الجبل "الأخضر" بليبيا وساحل الصومال. وقد يُطلق على هذه الظاهرة تعبير المصبات النهرية الخليجية Estuaries .

" هـــ "المداخل البحرية الجليدية Glacial Marine Inlets :

قـــد تـــتكون المداخل البحرية عند مصبات الأودية الجليدية ، وذلك فى حالة عدم توافر الظروف الطبيعية الملائمة لتشكيل الفيوردات على السواحل الغربية للقارات فى العروض الشمالية .

" و "المداخل البحرية المدّية Tidal Marine Inlets :

قد تسهم تيارات المد والجزر المرتفعة فى زيادة تداخل بعض الأذرع البحرية نتيجة إزالة ونقل الإرسابات من هذه الخلجان فى إتجاه البحر المفتوح .

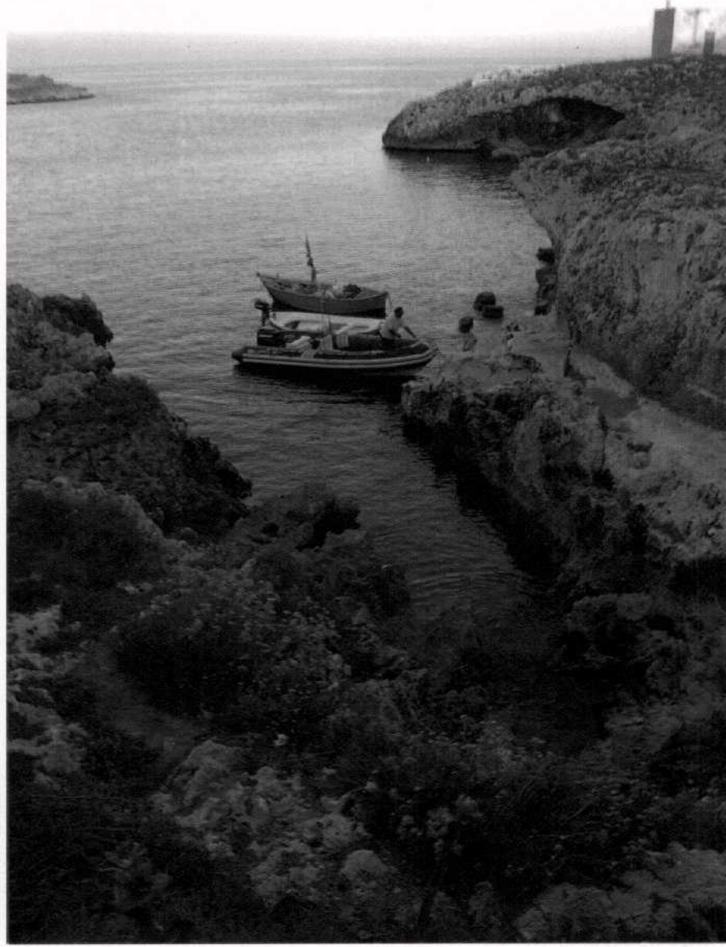
" ز " المداخل البحرية الناتجة عن إنهيار أسقف الكهوف البحرية :

Marine Inlets Due to Caves

قد تنهار أسقف الكهوف البحرية أمام هجمات الأمواج فتعمل على تشكيل مداخل بحـــرية تـــتوغل فى اليابس ، وقد يرتبط إنهيار الكهف بأحد العيوب الجيولوجية فى بعض الأحيان .

" ح " المداخل البحرية المــُركبة Composed Marine Inlets :

قد تنشأ المداخل البحرية نتيجة اشتراك أكثر من عامل من العوامل السابقة مثل تكوين المداخل الزجزاجية عند المصبات النهرية الإنكسارية .



صورة (٤-٢٤) مدخل بحرى فى منطقة " مارينا سيرا Marina Serra " بجنوب إيطاليا المطل على البحر الإدرياتى (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)

١٠ – أشكال النحت الكيميائى Chemical Denudation Features:

يـــتركز تـــأثير الفعل الكيميائى لمياه البحر على الأحجار الجيرية وغيرها من الصخور القابلـــة للتفاعل مع الماء سواء بفعل الإذابة أو الكربنة أو الأكسدة ، خاصة وأن مياه البحر لها القـــدرة على إذابة ثانى أكسيد الكربون من الصخر خاصة أثناء الليل، لأن درجة حموضة المياه تتناســـب تناسبا عكسيا مع درجة الحرارة ، ولذلك فنجد أن الحمضية تكون أكثر إرتفاعا مع برودة الليل ، كما تعمل المياه على تفكك وتحلل بعض المعادن التى تدخل فى تركيب الصخور، وقد لوحظ أن معادن الفلسبار الأرثوكلاسى والهورنبلند وصخور البازلت والابسيدان تتحلل فى المياه المالحة بسرعة أكثر من تحللها فى المياه العذبة بنحو عشرة أضعاف مرة فى المتوسط (جودة ، ١٩٨٩ : ٤٠٩) وينـــتج عـــن التفاعل الكيميائى مع صخور السواحل العديد من الأشكال الجيومورفولوجية (Bird ,1970) التى تظهر فيما بين مستوى المد المنخفض والعالى ([1]) :

(ب) سواحل الإرساب البحرى Marine Deposition Coasts :

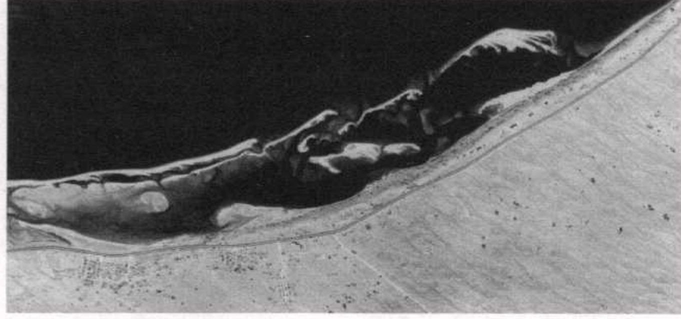
يمكن تقسيم السواحل الإرسابية إلى مجموعة من الأشكال الأرضية هى :

١– الحواجز البحرية Marine Bars :

عـــبارة عن سلاسل تلالية مغمورة تحت سطح البحر تتكون من الرواسب والمفتتات الـــبحرية الدقيقة الحجم ، وتظهر فى صورة حواجز ممتدة فوق مستوى سطح البحر أثناء فترات الجزر ، وهى تشبه فى امتدادها علامات الأمواج Ripple Marks ، إلا أنها أكبر حجماً وأقل تناسقاً وانتظاماً منها ، وهى تتشكل فى المياه الضحلة بالقرب من خط الساحل ، وتتركب من الرمال المشكلة من الكوارتز والجير والكربونات (صورة ٤–٢٥).

[1] – راجع أشكال الإذابة بالمياه فى الفصل الأول (موضوع التجوية الكيميائية) .

وهناك عدة مصطلحات تطلق على الحواجز البحرية منها السلاسل الطائرة Flying Bars ، وحواجز الشاطئ الأمامى Offshore Bars ، وحواجز المستنقعات الشاطئية Marsk Beach Ridges ، والحواجز الأصبعية Finger Bars ، ويطلق المسمى الأخير على الحواجز البحرية الممتدة عند مصب نهر المسيسبى ، ويعبر كل مصطلح من التعبيرات السابقة على حالة خاصة من أشكال الحواجز البحرية ، ولكن يظل تعبير حواجز الشواطئ الأمامية Offshore Bars كممصطلح جامع لكل هذه الحالات. وتصنف الحواجز البحرية إلى الأنواع الأتية حسب أسلوب تشكيلها :



صورة (٤-٢٥) صورة جوية توضح مجموعة حواجز بحرية موازية لخط الساحل فى إمارة رأس الخيمة بدولة الإمارات

" أ " الحواجز البحرية الطولية Longitudinal Marine Bars:

وهى حواجز ممتدة بصورة منفردة أو مزدوجة أو ثلاثية ، وتكون متوازية وموازية لخط الساحل ، وتبدو هذه الحواجز مستقيمة الامتداد أو منثنية تبعا لظروف تشكيلها ، إذ إنها ترتبط فى نموها بتيار الإزاحة الطولى فتمتد بصورة موازية له .

الصفحات من ٢٧٣ الى ٢٨٨

ساقطة من اصل المصدر

الصفحات من ٢٧٣ الى ٢٨٨

ساقطة من اصل المصدر

الصفحات من ٢٧٣ الى ٢٨٨

ساقطة من اصل المصدر

الصفحات من ٢٧٣ الى ٢٨٨

ساقطة من اصل المصدر

الصفحات من ٢٧٣ الى ٢٨٨

ساقطة من اصل المصدر

الصفحات من ٢٧٣ الى ٢٨٨

ساقطة من اصل المصدر

الصفحات من ٢٧٣ الى ٢٨٨

ساقطة من اصل المصدر

الصفحات من ٢٧٣ الى ٢٨٨

ساقطة من اصل المصدر

الصفحات من ٢٧٣ الى ٢٨٨

ساقطة من اصل المصدر

الصفحات من ٢٧٣ الى ٢٨٨

ساقطة من اصل المصدر

الصفحات من ٢٧٣ الى ٢٨٨

ساقطة من اصل المصدر

الصفحات من ٢٧٣ الى ٢٨٨

ساقطة من اصل المصدر

الصفحات من ٢٧٣ الى ٢٨٨

ساقطة من اصل المصدر

الصفحات من ٢٧٣ الى ٢٨٨

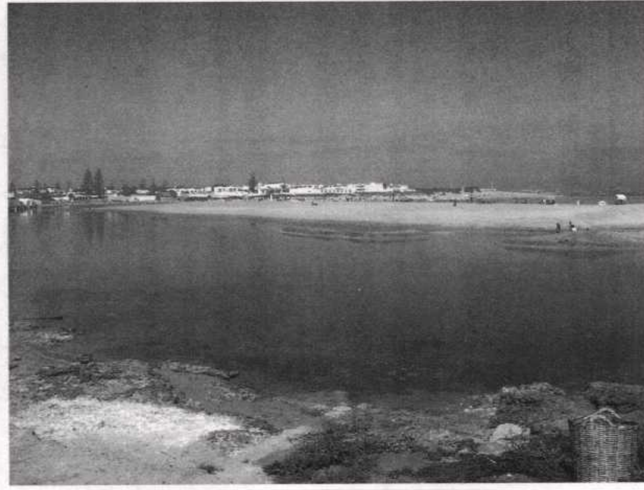
ساقطة من اصل المصدر

الصفحات من ٢٧٣ الى ٢٨٨

ساقطة من اصل المصدر

الصفحات من ٢٧٣ الى ٢٨٨

ساقطة من اصل المصدر



صورة (٤-٣٣) بحيرة "الوليدية" الساحلية الواقعة على ساحل المحيط الأطلسى بالمغرب جنوب الدار البيضاء بحوالى ١٢٠كم (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٣)

وعـــادة مـــا تقـــع هذه الفتحات فى نطاقات محمية من خط الساحل حيث تكون الأمـــواج ضـــعيفة مع وجود تيارات متبادلة بين البحر ومسطح البحيرة ، مما يعمل على حمايـــة هذه الفتحات من الإطماء والإنسداد التام وكثيرا ما يتم تعميق بواغيز البحيرات المستغلة إقتصادياً مثل بحيرات "البردويل" و"البرلس" و"المنزلة".

كما يمكن تصنيف البحيرات الساحلية تبعا لإختلاف عوامل تشكيلها إلى المجموعات الآتية:

المجموعة الأولى : البحيرات الساحلية القارية النشأة Continental Lagoons :

وهى البحيرات التى ساهمت فى تشكيلها عوامل جيومورفولوجية قارية وتشمل ما يلى:

"أ" بحيرات ساحلية عند المصبات الخليجية Estuarien Lagoons

"ب" بحيرات ساحلية دلتاوية Deltaic Lagoons

"ج" بحيرات ساحلية ناتجة عن الإرساب بالرياح Aeolian Deposits Lagoons

المجموعة الثانية : البحيرات الساحلية البحرية النشأة Marine Lagoons :

وهى البحيرات التى ساهمت فى تشكيلها عوامل جيومورفولوجية بحرية وتشمل ما يلى:

"أ" بحيرات تنشأ عن الحواجز البحرية Barrier Lagoons

"ب" بحيرات تنشأ عن الخطاطيف البحرية Lagoons due to Hooks

"ج" بحيرات تنشأ عن الألسنة البحرية Lagoons due to Spits

"د" بحيرات ساحلية تنشأ عن التسرب تحت السطحى :

ينشأ النوع الأخير بتسرب المياه تحت السطحى لتعويض البخر من المنخفضات المجاورة لخــط الســـاحل ، مما يسهم فى تكوين نطاق ضحل من البحيرات الساحلية ، وتنتقل المياه من البحر للمنخفض بخاصية الضغط الأسموزى من المحلول الأقل تركيز للمحلول الأكثر تركيز تبعا لإرتفـــاع نسبة ملوحة مياه البحيرة المغلقة بسبب البخر ، وكثيرا ما تتحول هذه البحيرات إلى نطاق من المستنقعات نتيجة تراكم الرواسب والمواد الدقيقة العالقة ، مما يسهم فى تهيئة الظروف الملائمــة لنمو بعض النباتات والحشائش والطحالب ، مثل بحيرة الشمس المتاخمة لساحل "طابا" المُطــل على خليج العقبة ، وكذلك البحيرة المتشكلة على جزيرة "فرعون" جنوبى مدينة "طابا" ببضعة كيلــو مترات .

"هـ" بحيرات ساحلية عضوية النشأة Organic Lagoons :

يـــرجع تشكيل هذا النوع من البحيرات إلى نمو بعض الكائنات العضوية الحية ، مثل الشـــعاب المرجانـــية ، والطحالـــب ، وغابات المنجروف وغيرها ويوضح الجدول التالى أبعاد وأعماق بعض البحيرات الساحلية العضوية الكبرى بالعالم (Daly, 1910).

مسلسل	إسم البحيرة	المنطقة	أقصى عمق للبحيرة بالأقدام	متوسط العمق بالأقدام	أقصى إتساع للبحيرة بالأقدام	طول البحيرة بالأقدام
١	فيتى ليفو	جزر فيجى	٤٦	٣٥	٣٠	٣٨
٢	نوسوكا	جزر تونجا	٤٨	٤٠	٢٠	٢٥
٣	شمال مال	جزر المالديف	٣٨	٣٣	٢٠	٢٤
٤	مولاكو	جزر المالديف	٤٢	٣٥	١٥	٢٥
٥	سوفالديفا	جزر المالديف	٤٨	٤٠	٣٣	٥٠

ويـــنمو المـــرجان عـــادة على شواطئ هذا النوع من البحيرات الساحلية نتيجة توافر الظروف الطبيعية الملائمة لنموه ، وخاصة إرتفاع درجة حرارة المياه ، وزيادة نسبة ملوحتها ، بالإضافة الـــتى شفافيتها ونقائها، ويقتصر نمو الشعاب المرجانية على ضفاف البحيرة الضحلة فى صورة أرصفة موازية لخطوط سواحلها دون أجزائها الداخلية العميقة، ويطلق على هذه البحيرات تعبير الخـــندق المـــائى Moat ، أو المداخـــل البحيرية Lagoonlet ، نظرا لشدة أعماقها بالنسبة لإتساعها المحدود.

وهـــناك العديـــد من الأشكال الجيومورفولوجية الثانوية التى تتشكل بالبحيرات الساحلية العضوية وأهمها مايلى :

١- شاطئ البحيرة الساحلية Lagoon Beach :

عبارة عن هوامش رملية متاخمة لساحل البحيرة الساحلية ، وينتشر على هذه الهوامش زبد الشاطىء ، والأرسابات الدقيقة والمواد العالقة .

٢- مسطح البحيرة الساحلية Lagoon Flat :
مسطح مستوى تقريباً ، ويتاخم شاطىء البحيرة فى إتجاه قاعها ، وهو يتكون عادة من الصخور الأصلية التى ينمو عليها المرجان ، وينتشر على هذا المسطح التجمعات الرملية، والطين المرجانى بالتتابع مع حفر ضحلة تعلوها تجمعات المرجان .

٣- حافة البحيرة الساحلية Lagoon Cliff (Lagoon Scarp) :
وهى عبارة عن حافة صخرية مغمورة بالمياه ، تفصل بين أعماق البحيرة وشواطئها، وأحياناً ما تتشكل هذه الحافة فى صورة مدرجات متوازية تشير إلى تتابع الذبذبات فى مستوى سطح المياه بالبحيرة .

٤- جزر البحيرات الساحلية Lagoon Islands :
جزر بارزة فوق صفحة المياه داخل مسطح البحيرة الساحلية نتيجة نمو الشعاب المرجانية من ناحية ، وانخفاض مستوى الماء بالبحيرة من ناحية أخرى ، مما يسهم فى بروز هذه الجزر المتناثرة المحدودة الإتساع .

"و" بحيرات ساحلية مركبة النشأة Compound Lagoons :
وهى تلك البحيرات التى يشترك فى تشكيلها أكثر من عامل جيومورفولوجى ، مثل البحيرات التى تنشأ عن الارساب النهرى بالإشتراك مع الخطاطيف ، أو الحواجز ، أو الألسنة البحرية التى تتكون من الرواسب الفيضية المتأثرة بالتيارات البحرية الموازية لخط الساحل ، مثل اللسان البحرى الممتد بمحاذاة ساحل مدينة "دهب" بشبه جزيرة سيناء ، الذى تشكل بتأثير دفع التيار البحرى الشمالى للرواسب التى يلقى بها وادى "الغائب" فى قاع خليج العقبة ، ليدفعها التيار البحرى جنوباً تاركاً بحيرة ساحلية مفتوحة بين اللسان وخط الساحل، حيث تستغل فى أغراض الرياضات البحرية لرواد المنشآت السياحية المشيدة بالمنطقة .

نستنتج مما سبق أنه يمكن استخلاص **العوامل المؤثرة فى تشكيل البحيرات الساحلية** ، وتحديد أنماط تطورها الجيومورفولوجى فى مجموعة العوامل الآتية :

١- **مدى ثبات مستوى سطح البحر** ودرجة تأثره بتيارات المد والجزر .

٢- **قوة وتوجيه الأمواج** بالنسبة لخط الساحل :

فقد لوحظ أن الحد الأقصى لإرتفاع الأمواج المساهمة فى تشكيل البحيرات الساحلية لا يتعدى المترين ، ولا تزيد فترة الموجة (الفترة الزمنية اللازمة لمرور قمتين متتاليتين) عن خمس ثوان ، ويزداد تأثير الأمواج فى تشكيل البحيرات الساحلية كلما قلت قيمة الزاوية المحصورة بين إتجاه الأمواج وخط الساحل .

٣- **شدة وتوجيه التيارات البحرية** :

يعظم تأثير التيارات البحرية فى حالة وجود كميات من الرواسب الدقيقة الحجم بدرجة تلائم قدرة دفع التيارات البحرية السائدة بالمنطقة .

٤- **طبيعة المنطقة الشاطئية** وتشمل مدى توافر الكثبان الرملية الساحلية والإرسابات الفيضية ، التى يمكن استخدام موادها فى بناء الحواجز والألسنة البحرية .

٥- **الظروف المناخية للإقليم** : وتشمل درجة الحرارة ومدى مساهمتها فى تحديد معدل تبخر المياه بالبحيرة ، ومدى تعويضه بمياه البحر المارة من خلال الفتحات والبواغيز الموصلة بين المسطح البحيرى والبحر .

٦- **طبيعة الغطاء النباتى** ودوره فى حماية مداخل البحيرات من التآكل والنحت البحرى ، والعمل على تماسك التربة على شواطىء البحيرة .

٧- **نوع الكائنات الحية** التى تعيش بالبحيرة وتأثيرها على سلامة وتوازن النظام البيئى بالبحيرة ، ومدى مساهمة هذه الكائنات فى تنشيط معدلات الترسيب على القاع ، وتأثيرها على درجة ملوحة مياهها .

٨- **التدخل البشرى** : ويشمل التدخل السلبى الذى يعمل على إندثار البحيرة الساحلية بردم سواحلها ، مثلما حدث للبحيرات الشمالية لدلتا النيل، أو الدور

البشـــرى الإيجابى الذى يعمل على حماية مداخل وبواغيز البحيرة بتطهيرها ، لتنشيط وتجديد مـــياهها للمحافظة على نسب ملوحتها ، مثل إنشاء الكبارى والبواغيز الصناعية التى أقيمت على بحيرات "جيبسلاند Gippsland" فى أستراليا، وبحيرات جنوب استراليا .

النمط الثالث :سواحل النشاط الحيوى Bio-Coasts:

ينشأ هذا النمط من السواحل بتأثير بناء الكائنات العضوية ، وهو يصنف إلى الأشكال الآتية:

١- سواحل الشعاب المرجانية Coral Reef Coasts :

تتركـــب الشـــعاب المرجانية من صخور جيريـــة (كربونات الكالسيوم) تم بناءها بواســـطة كـــائن بحرى دقيق هو الحيوان المـــرجانى Coral Poluses ، عن طريق استخلاص كربونات الكالسيوم وترسيبها بعـــد مـــوت الكائن الحى فى صورة بعض الأنسجة أو التراكيب الهيكيلية غير المنتظمة الشـــكل ، وبعد موت الكائن الحى تتكون كـــتل كلسية على شكل شعب مرجانية كتلـــية Massive Reef ، يبدأ نموها من قاع السطح البحرى الضحل ويعلو تدريجيا حـــتى يصـــل لمستوى الجزر ،وتنمو حولها وداخلها بعض النباتات والطحالب الدقيقة والـــرخويات Nolluscs ، والقواطـــع الصـــدفية Shelly Organisms (صورة ٤-٣٤).



صورة (٤-٣٤) شعاب مرجانية متصلبة على ساحل جزيرة "قشم" الإيرانية
(تصوير المؤلف فى نوفمبر ٢٠٠٢)

ويتضح من العرض السابق أن نشأة الشعاب المرجانية تنتج من عمليات الترسيب العضوى للكائـــنات الحية ، ولكن يعاد تشكيلها مرة أخرى بواسطة عمليات النحت البحرى ، ويزداد تعقـــد أشكالها إذا ما تأثرت بالعمليات (الباطنية) التكتونية (محمد صبرى محسوب ، ١٩٨٦ : ٢٦٦) .

وهـــناك عـــدة عوامل تتحكم فى معدل نمو الشعاب المرجانية وهى التى توفر الظروف الطبيعية الملائمة لإزدهاره وهى(Davies, 1980 : 66):

١- **درجـــة حرارة المياه** : يرتبط نمو المرجان بالمياه الدفيئة التى تتراوح درجة حرارتها بين ٢٥و٢٩ درجة مئوية.

٢- **الضوء** : يتطلب نمو المرجان قدر كافى من الأشعة الشمسية ، وأفضل معدل لنمو المـــرجان يكون فى المياه الصافية حيث يستطيع الضوء الوصول لعمق ٩٠ متر ، ولكن يزدهـــر نمو المرجان من سطح البحر وحتى عمق ٢٠ متر حيث تتمتع المياه السطحية بأعلى قدر من أشعة الشمس.

٣- **نسبة ملوحة المياه** : يتحمل المرجان نسبة ملوحة تتراوح بين ٢٧ إلى ٤٠ فى الألف ولكـــن تعتبر نسبة ٣٥فى الألف البيئة المثالية لازدهاره، ولذلك ينعدم وجود الشعاب المرجانـــية أمـــام مصـــبات الأنهار والأودية شبه الجافة ، وكذلك فإن الملوحة البالغة الإرتفاع أكثر من٤٠ فى الألف تعد بيئة غير صالحة لنموه.

٤- **الإرتكاز على صخور القاعدة المرجانية** : يحتاج المرجان فى نموه إلى صخور صلبة يمكن أن يرتكز عليها ، وهو لا يمكنه النمو فوق الرواسب المفككة .

٥- **حركة المياه** : يعتبر تحريـــــك المياه من العوامل المساهمة فى إزدهاره للأسباب الآتية:

"أ " توزيع درجة حرارة المياه وزيادة تجانسها.

"ب" منع ترسيب المواد الدقيقة على جسم الكائن البحرى مما يعوق نموه.

"ج" تقليـــب الكـــتلة المائية للحصول على البلانكتون من القاع وجعله فى تناول المرجان ليتغذى عليه.

"د" إرتفـــاع نســـبة الأكسجين اللازم لتنفس المرجان وخاصة أثناء الليل حيث تتوقف الطحالب الملتصقة بجسم المرجان عن إفراز الأكسجين ليلا.

وتصنف الشعاب إلى عدة أشكال تبعا لتقسيم دارون Daruin هى :

"أ" هوامش المرجان (أطـُـر المرجان) Fringing Reefs :

تعــد الهوامش الشكل الأساسى لنمو الشعاب المرجانية ، وأبسطها وأكثرها إنتشارا، وهى تتكون من قشرة خارجية ضحلة أو رفرف ضحل Shallow shelf يمتد بالقرب من خط الســاحل ، أو حول شواطئ الجزر فى النطاقات التى تتلائم ظروفها الطبيعية مع نمو كائن المرجان، وتتميز هوامش المرجان باستوائها وإتساعها الذى يبلغ حوالى ٥٠ متر ، ويصل فى بعــض الأحــيان إلى أكثر من الكيلومتر ، وتشتد درجة انحدار أطرافها الخارجية المواجهة للــبحر ، حيث يتراوح انحدارها بين ٢٥و٤٠ درجة، وغالبا ما يكون المرجان حيا فى هذه الأطــراف. وتــتجه هوامش المرجان إلى تشكيل نطاقات دائرية تحيط بالرؤوس البحرية ، وتبدو كمراوح مرجانية Coral fans وأنصاف دوائر شبه مستوية.

"ب" أرصفة المرجان Platform Reefs :

يتشــكل هذا النمط من المرجان بصفة عامة على شكل بقع دائرية أو بيضاوية الشكل من الشعاب المرجانية المستوية يرتبط سطحها بمستوى الجزر ، ويطلق عليها تعبير أرصفة المرجان حيــنما تــتعدى أقطارهــا الميل ، أما التى تقل أقطارها عن هذه القيمة فإنها تسمى بالبقع المرجانــية Patch Reefs ، أو الرفارف المرجانية Shell Reefs، أو الضفاف المرجانية Bank Reefs ، ويطلــق عــلى بعضــها أيضا تعبير الكدوات المرجانية Hummock Reefs ، وتتكون أرصفة المرجان فى المسطحات البحرية التى تتراوح أعماقها من ٢٠ و٤٠ مــتر على الرفارف القارية ، وتنمو بصورة متناثرة بغير انتظام فى بعض الأحيان ، ولكنها غالــباً ما تتشكل فى أحزمة تحيط بالرؤوس البحرية بالقرب من خط الساحل كبقع دائرية متلاصقة مكونة من الشعاب المرجانية التلالية المظهر.

"ج" الحواجز المرجانية Barrier Reefs :

تمتد الحواجز المرجانية بصورة موازية لخط الساحل وتبعد عنه بمسافة تزيد عن ٣٠٠ متر ، وتصل أحيانا إلى بضعة كيلومترات ، بحيث تفصلها عنه قناة طولية عريضة من مياه البحر، تـــتقطع أحـــيانا وتتحول إلى بحيرات ساحلية طولية ضحلة تغطى قيعانها الرواسب وفتات الشعاب المرجانية ، وتتميز الحواجز بإنحدارها الشديد فى جوانبها المواجه للبحر بعمق يصل أحـــيانا إلى أكثر من ١٠٠٠ متر ، وتبدو جوانبها الداخلية بإنحدار هين ، حيث تنمو عليه بعـــض الـــبقع المرجانية البارزة المحدودة الحجم ، والأعمدة المرجانية Pinnacle Reef ، والـــرؤوس المرجانية Coral Heads ، وتحصر بينها وبين خط الساحل بعض التجويفات العميقه التى تتحول إلى بحيرات ساحلية طولية الشكل ، تتراوح أعماقها بين ٥٠و٨٠ متر

ويعد الحاجز الإسترالى العظيم أطول الحواجز المرجانية فى العالم ، حيث يمتد لأكثر من ٢٠٠٠ كـــم ، بالقرب من ساحل كويترلاند الإسترالى ، وينحدر جانبه المواجه للمحيط بأكثر من ٤٠ درجة ، بحافة يصل عمقها لأكثر من ١٨٠ متر، بينما يصل أقصى عمق على جانـــبه الداخلى حوالى ٤٥ متر ، ويحصر داخله نطاق من البحيرات الساحلية الضحلة التى تتميز بالاستواء والانتظام (صورة ٤-٣٣) .





صورة (٤-٣٥) صور جوية لأثنتين من الجزر المرجانية التى ترسبت فوقها طبقة من الرمل بفعل الأموا- والتيارات البحرية وتيارات المد والجزر قبالة إمارة أبوظبى[1]

[1] تصوير الأستاذ / عمر البحرة أثناء رحلة بطائرة عمودية (هليكوبتر) لدراسة بعض أشكال الجزر الرسوبية على سواحل الخليج العربى بدولة الإمارات ضمت الدكتورة/ عائشة المطوع برفقة المؤلف فى أبريل ٢٠٠٢

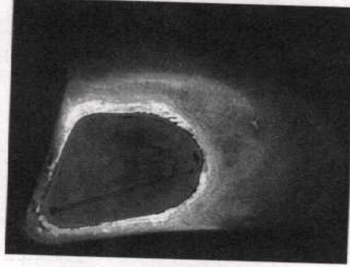
"د" الحلقات المرجانية Atolls :

أصــل المصطلح أتولو Atolu ، مــأخوذ عــن سكان جزر المالديف بالمحيط الهندى، وهو يعبر عن حلقات مرجانية دائرية الشكل ، تحصر داخلها بحــيرة ساحلية ضحلة لا يزيد عمقها عن بضعة أمتار .

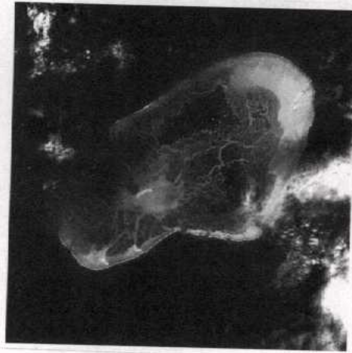
وقــد تبدو بعض الحلقات المرجانية ذات شــكل بيضــاوى، أو على هيئة حــدوة الحصــان ، أو ذات شكل غير منــتظم فى بعــض الحيان ، وكثيرا ما تحــتوى الحلقات المرجانية على عدد من الفجــوات أو الممــرات التى تصل بين البحيرة الداخلية والمسطح البحرى المحيط بهــا ، وتتناثر الحلقات المرجانية فى أنحاء المحــيط الهــادى والهندى وأهمها جزر المــالديف ، وجزيرة جلبرت ، والجزر المنتشــرة فى بحر المرجان و بحر تسمانيا. (شكلا ٤-١٣ ، ٤-١٤، وصور من ٤-٣٦إلى ٤-٣٨) .



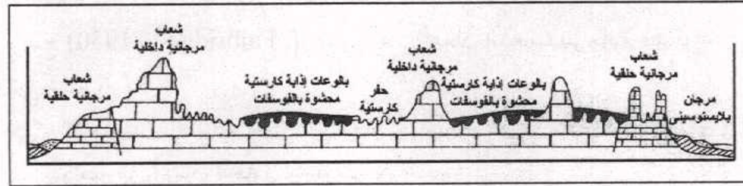
صورة (٤-٣٦) جزيرة حلقية تعرضت للهبوط غير المتساوى ضمن أرخبيل "بولينــزيا polynesia "



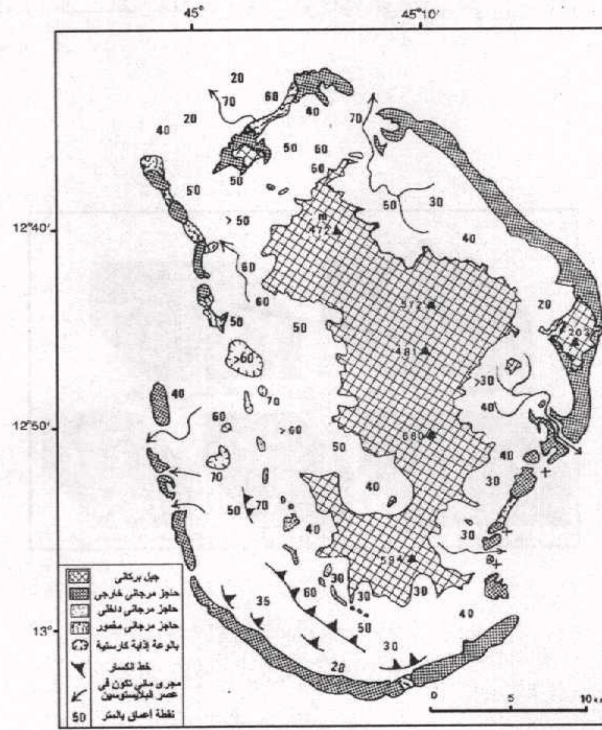
صورة (٤-٣٧) جزيرة حلقية تُدعى " Baker Island" ضمن مجموعة جزر "هاواى" بالمحيط الهادى



صورة (٤-٣٨) جزيرة حلقية بالمحيط الهادى تكونت فيها بحيرة تحتل فوهة بركان قديم



شكل (٤-١٣) مقطع عرضى فى جزيرة " نارو-Nauru" المرجانية الواقعة فى المحيط الهادى (المصدر: Guilcher,A,1988:167)



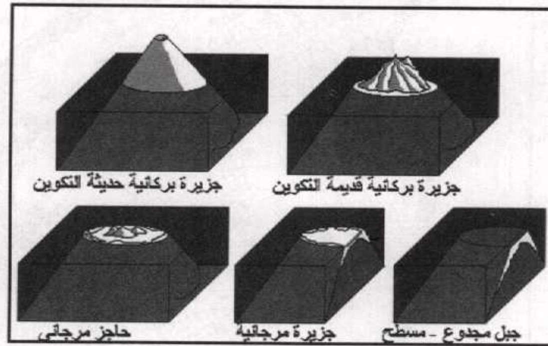
شكل (٤-١٤) مورفولوجية جزيرة "مايوت Mayotte " المرجانية بالجزء الغربى من المحيط الهندى (المصدر: Guilcher,1988:120)

وهـــناك عـــدة أسس تُتبع فى تصنيف الحلقات المرجانية ، أهمها التقسيم الذى اقترحه فيربريدج (Faibridge , 1950)، اعتمادا على أعماق الشعاب المرجانية عند قواعدها وهى (شكل ٤-١٥) :

"أ" الحلقات المرجانية المحيطية Ocanic Atolls وهى التى ترتبط بالإنبثاقات البركانية وتصل إلى أعماق تتجاوز ٥٠٠ متر .

"ب"حلقـــات الرفارف القارية Shelf Atolls : ينمو هذا النوع من الحلقات على الرفارف القارية الضحلة الى لايزيد أعماق قواعدها عن ٥٠٠ متر.

"ج" الحلقـــات المرجانـــية المركبة Compound Atolls وهى الحلقات التى ترجع للـــنمطين الســـابقين معا مثل الجزر البركانية التى تنبثق على أرضية الرفارف القارية الضحلة.



شكل (٤-١٥) بعض أنواع الجزر المرجانية الحلقية

٢- سواحل المحار البحرى Oyster Reef Coasts :

تمـثل سـواحل المحار البحرى المرتبة الثانية من حيث الإنتشار بين الكائنات الحية بعد الشعاب المرجانية ، وتمتد تكوينات المحار البحرى على شكل سلاسل طولية ممتدة على مسافات طويلـة على الشاطئ ، وتتميز بضيق نطاقها الموازى لخط الساحل ، حيث يتراكم المحار الحى فوق بقايا المحار الميت الذى يفترش بعض الشواطئ ، وهى تنتشر على سواحل الولايات المتحدة الأمريكية وخاصة سواحل ولاية "تكساس" وسواحل ولاية "نيوجرسى" ، وجزر "نيوزيلند" .



صورة (٤-٣٩) ساحل يتشكل من المحاريات فى خور كلبا الواقع على خليج عُمان بدولة الإمارات (تصوير المؤلف فى أكتوبر ٢٠٠٢)

وتتشكل سواحل المحار بصورة أساسية من بقايا الرمال والحصى العضوى ومكسورات المحاريـات مكونة رسوبيات مغمورة على الشاطئ الأمامى ، كما تكون هذه البقايا بعـض الألسنة البحرية المتصلة باليابس من أحد طرفيها ، أو حواجز بحرية موازية لخط السـاحل ، وذلك حسب طبيعة التيارات الـبحرية والأمواج، ويمكن إيجاز مجموعة العوامل المؤثرة فى إنتشار المحار البحرى على المـناطق الساحلية فيما يلى (Lund , 1957 :316) (صورة ٤-٣٩):

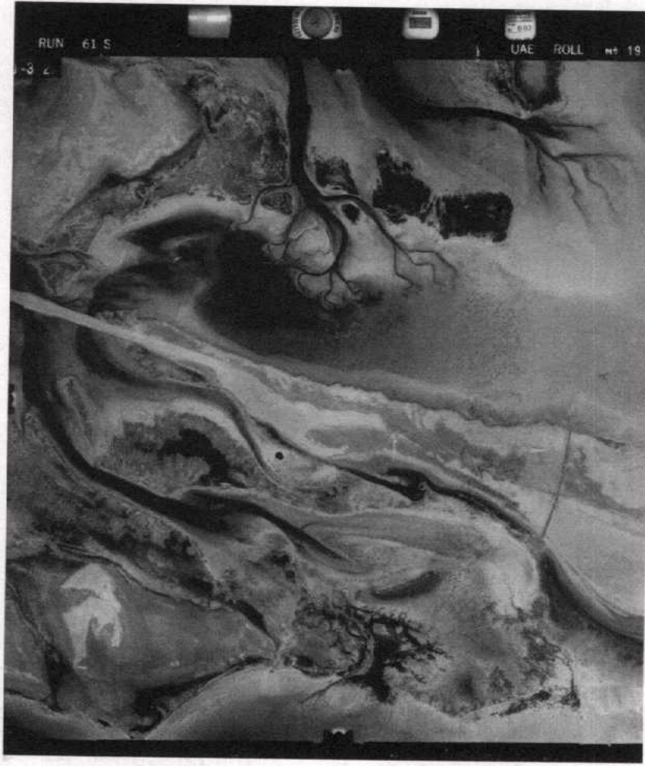
"أ" مدى توافر المواد الغذائية التى تنقلها التيارات البحرية.
"ب" يتطلب نمو المحاريات صفاء المياه وإرتفاع نسبة الملوحة.
"ج" يزدهـر نمو المحار بعيدا عن المصبات الخليجية للأنهار والمداخل البحرية ، التى يرتفع فيها الفارق المدى ، حيث تعمل حركات المد والجزر على تعكير صفاء المياه .
"د" يسـود المحار البحرى فى السواحل التى لا تتعرض لتباينات حادة فى درجات حرارة المياه ونسب ملوحتها.

"هـــ" ينتشر المحار فى المناطق التى تتميز بإستقرار قيعانها ، وعدم تعرضها لعملية النحت البحرى وحركة المواد على قيعانها.
"و" تـــتراوح درجة حرارة نمو المحار البحرى بين ١٥ و ٢٥ درجة مئوية ، كما تتراوح نسب ملوحة المياه المناسبة لنموه بين ١٠و ٣٠ فى الألف.

٣- سواحل المانجروف (القرم) Mangrove Coasts :

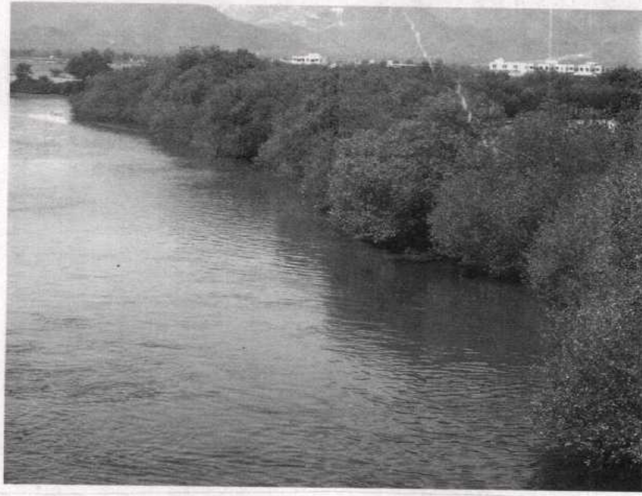
سواحل المانجروف (القرم) عبارة عن نطاقات مستنقعية تنمو بها غابات من الشجيرات تـــنغمر جذوعها بمياه المد البحرى ، وهذه الشجيرات لها القدرة على تحمل بعض الملوحة وقد يصل إرتفاعها إلى ١٢٠ قدم ، وأقطارها إلى ثلاثة أقدام، وقد تغطى غابات المانجروف (القرم) أجـــزاء مـــن اليابس بالإضافة إلى إنتشارها على الشواطئ الضحلة لمسافة تصل إلى أربعين مترا داخل اليابس وخاصة إذا كان يغمر أحيانا بتيارات المد العالى.

ونـــادراً ما تتعدى مساحة غابة المانجروف (القرم) أكثر من ٥٠٠ ميل مربع، وهناك العديـــد مـــن الغابـــات الكـــبيرة المســـاحة ، وخاصة الغابات المنتشرة على الساحل الغربى لولايـــة فلوريـــدا المريكـــية ، وعـــلى ســـواحل كلومبـــيا المُطلة على المحيط الهادى ، وعند المصـــب الخليجى لنهر "جوياكيل Guayaqil" فى إكوادور ، وعلى سواحل جزر الفلبين، وتغطـــى مســـتنقعات المانجـــروف (القرم) حوالى عشرة آلاف ميل مربع من سواحل العالم ، وهى تشكل نحو ١% من مساحة جميع أنواع المستنقعات المعروفة على سطح الأرض (صورة ٤-٤٠).



صورة (٤-٤٠) صورة جوية لبعض قنوات الجزر التى تنتشر على ضفافها شجيرات القرم على سواحل إمارة رأس الخيمة بدولة الإمارات

وتنغمر أرضية مستنقعات المانجروف (القرم) عادة بالمياه خلال فترات المد العالى، ولكن قد تظل هوامشها الداخلية بمنأى عن الغمر البحرى ، وأثناء إنحسار المياه فى فترات الجزر تنكشف الأرض وتجف عنها المياه وتظهر عليها بعض القنوات المتعرجة الضحلة ، تمر فيما بين الشجيرات لتصـريف المـياه نحو البحر ، كما تبدو مساحات متناثرة تغطيها الأعشاب الملحية ، وتتخللها مساحات من الطين (صورة ٤-٤١).



صورة (٤-٤١) شجيرات القرم الكثيفة على ساحل خور "كلبا" الواقع على خليج عُمان بدولة الإمارات (تصوير المؤلف فى أكتوبر ٢٠٠٢)

وهـــناك مجموعة من الضوابط تتحكم فى معدل نمو شجيرات المانجروف (القرم) وتحدد مدى إنتشارها وهى :

" أ " تنمو أشجار المانجروف (القرم) على السواحل المحمية من هجمات الأمواج أو التى تتعرض للأمواج الضعيفة.

"ب" تـــنمو أشـــجارها فى السواحل الضحلة لأن جذور الشجيرات الصغيرة لا تستطيع التوغل فى المياه التى يتجاوز عمقها المترين خلال فترات الجزر.

"ج" تستطيع أشجار المانجروف (القرم) التكيف مع ظروف المياه المويلحة ، ولذلك فهى تنتشر عند المصبات الخليجية للأنهار والأودية شبه الجافة ، وخاصة التى تلقى بكميات كبيرة من الرواسب الطينية.

"د" ترتـــبط غابـــات المانجروف (القرم) بالسواحل ذات الفارق المدى الكبير والتى تتميز بتضاريسها السهلة غير المعقدة فى العروض الدفيئة .

ويمكـــن تصـــنيف مستنقعات المانجروف (القرم) إلى ثلاثة أنماط أساسية اعتماداً على مصادر رواسبها وهي:

"أ" المســـتنقعات ذات الإرســـابات الأصلية الموضعية الناتجة عن تحلل النباتات ، أو عملية الكربـــنة التكوينات الطينية ، مثل مستنقعات سواحل جنوب غرب ولاية "فلوريدا" وسواحل "جامايكا" ، وجزر "الباهاما" فى المحيط الأطلسى.

"ب" المســـتنقعات ذات الإرسابات المنقولة من خارج المستنقع سواء من البحر أو اليابس المتاخم له ، وهى أكثر شيوعا من النوع السابق وتنتشر فى كثير من سواحل العالم.

"ج" المستنقعات ذات الإرسابات المختلطة من النوعين السابقين ، مثل مستنقعات سواحل "كلومبيا".

وقد تصنف المستنقعات تبعا للشكل الجيومورفولوجى المرتبطة به فقد تقسم إلى المستنقعات الدلـــتاوية، ومســـتنقعات البحيرات الساحلية ، وتلك المرتبطة بالمصبات الخليجية ، أو الحواجز البحرية (West, R . C., 1956: 1).

٤- سواحل حشائش المستنقعات Marshgrass Coasts :

يرتـــبط هذا النمط من السواحل بالمستنقعات والسبخات الساحلية التى تسمح ظروف بيـــئاتها الطبيعـــية بنمو بعض الحشائش التى لها القدرة على التكيف مع تلك الظروف ، خاصة إرتفاع نسبة ملوحة المياه وفقر تربانها ، ويمكن تصنيفها إلى الأنواع الأتية :

"أ" المســـتنقعات الساحلية البحرية النشأة المتطورة عن البحيرات الساحلية تبعا لتراكم الإرسابات على قيعانها ، وتستمد هذه المستنقعات مياهها من المسطح البحرى المتاخم لها.

"ب" المســـتنقعات الساحلية القارية النشأة التى تستمد مياهها من اليابس الأرضى المجاور ، سواء بالأنسياب السطحى ، أو بالتسرب تحت السطح.

"ج" المستنقعات الساحلية الموسمية التى تجف تماما فى أحد فصول السنة وخاصة إذا كانت تستمد مـــياهها مـــن الـــيابس القارى ، أو تتعرض للجفاف على فترات متقطعة إذا كانت ترتبط بتذبذب مستوى المد والجزر فى المسطح البحرى ، وتنتشر حشائش المستنقعات على ساحل الـــبحر الأحمـــر وخاصـــة فى منطقة الجمشة ، وجنوبى طابا بحوالى ٦كم فى بحيرة أو بركة "الشمس" .

٥- سواحل الطحالب البحرية Algal Reefs coasts :

تتركـب سواحل الطحالب من بقايا عضوية متحجرة هى فى الواقع طحالب كانت تـنمو فى فـترات زمنـية سابقة ، وهى تنتشر على بعض السواحل البحرية والمحيطية وبعض البحيرات المالحة ، وقد يرجع تكوين هذه الطحالب إلى فترات جيولوجية قديمة ، وقد عثر على الطحالب مكونة من الطحالب المتحجرة ترجع لما قبل الكمبرى ، وتصنف سواحل الطحالب البحرية إلى ثلاثة أنماط أساسية هى:

"أ" نباك الطحالب البحرية Algal Hummocks :

وهـى عـبارة عن تلال صخرية محدودة الإرتفاع تتكون من بقايا الطحالب المتحجرة يـتفاوت إرتفاعهـا بين٣٠ إلى ١٠٠سم ، وهى تأخذ عدة أشكال فى توزيعها الجغرافى بالمنطقة الشاطئية ، فقد تتناثر بصورة منفردة ، أو فى مجموعات متجاورة فى صفوف شبه منتظمة ، وهى ترتبط بظروف المياه شديدة الملوحة ، ولعل شاطئ خليج شرك Shark Bay عـلى السـاحل الغربى لأستراليا يعتبر أوضح نموذج لهذا النوع من نباك الطحالب البحرية (Logan,B.W.,1961) .

"ب" أرصفه الطحالب البحرية Algal Platforms :

وهـى تـبدو كأرصفة مستوية السطح ممتدة بصورة موازية لخط الساحل ، وهى تظهر بصفه خاصه فى بعض أجزاء ساحل ولاية فلوريدا الأمريكية حيث تتشكل هذه الأرصفة مـن طـبقة سميكة من الطحالب المتحجرة مكونة فوق الرصيف البحرى التحاتى القديم الذى يتكون بدوره من الأحجار الجيرية (Ginsburg ,1960).

"ج"حواجز الطحالب البحرية Algal Ridges :

تأخذ بقايا الطحالب البحرية فى هذه الحالة مظهر الحواجز البحرية الموازية لخط الساحل ، وتتمـيز بإرتفاعاتها المحدودة التى تتراوح بين نصف المتر والمترين ، وتتعرض هذه الحواجز لهجمات الأمواج مما يعمل على تفتت بقاياها ، وهى تنتشر فى أجزاء مبعثرة من سواحل المحيط الهادى والمحيط الهندى (Newell,et al,1957) .

قائمة المراجع:

أولا : المراجع باللغة العربية :

١. جودة حسنين جودة (١٩٧٦) معالم سطح الأرض ، دار المعرفة الجامعية ، الإسكندرية .
٢. ------------(١٩٨٩) الجيومورفولوجيا ، دراسة فى علم أشكال سطح الارض، دار المعرفة الجامعية الاسكندرية
٣. حسن سيد أحمد أبوالعينين(١٩٩٥) أصول الجيومورفولوجيا ،دراسة الاشكال التضاريسية لسطح الارض ، مؤسسة الثقافة الجامعية، الاسكندرية.
٤. محمد صبرى محسوب (١٩٨٦) جيومورفولوجية السواحل ، دار الثقافة للنشر والتوزيع ، القاهرة.
٥. محمد مجدى تراب (١٩٩٧) أشكال السواحل المصورة ، منشأة المعارف ، الأسكندرية ،

ثانياً : المراجع باللغة الإنجليزية:

1. Baulig,H. (1956) Vocabulaire Franco-Anglo Allemand de Geomorphologie, Paris,Publ.Fac.Lettres Univ. Strasbourg,No.130,230p.
2. Baker,G. (1956)*Sand Drift at portland Harbour, Victoria. Proc.R.Soc.Vict.68,151-198*
3. Bird, E. C. F. 1993. *Submerging Coasts*. Wiley, Chichester, England. GB451.2 B58.
4. ---------- (1970) *Coasts "An introduction to Geomorfology", London*
5. Davis, R. A. 1994. *The Evolving Coast*. Scientific American Library, New York.
6. Davis, R. A. 1996. *Coasts*. Prentice-Hall.
7. Dolan, R. et al. 1980. Barrier islands. *American Scientist* 68, 16-25. LJ115 S5 A3
8. Dolan, R. and Lins, H. 1987. Beaches and barrier islands.*Scientific American* 257 (1), 68-77. T1 S3

9. Guilcher,A. (1958) *Coastal and Submarine Morphology , (ed. Sparks,B.W., and Kneese, R.H.), London.*

10. Johnson,D.W. (1919) *Shore Processes and Shoreline Devolopment. John Wiley & Sons, New York,pp.159-403*

11. Kaufman, W. and Pilkey, O. H. 1983. *The Beaches are Moving: The Drowning of America's Shoreline*. Duke University Press. GB460 A2 K38.

12. Komar, P. D. (ed.) 1983. *Handbook of Coastal Processes and Erosion*. CRC Press, Boca Raton. GB451.2 C73

13. Leatherman, S. P. 1982. *Barrier Island Handbook*. College Park, Maryland. GB474 L42

14. ------. 1987. Annotated chronological bibliography of barrier island migration. *Journal of Coastal Research* 3, 1-14. QH541.5 C65 J68 .

15. -------. 1991. Coasts and beaches. In Kiersch, G. A. (ed.), *The Heritage of Engineering Geology*, 183-200. *Geological Society of America Centennial Special Volume 3.* TA705 H47 .

16. Maragos, J. E. et al. 1973. Tropical cyclone Bebe creates a new land formation on Funafuti Atoll. *Science* 181, 1161-1164. Q1 S3

17. Oertel, G. F. and Leatherman, S. P. (eds.) *Barrier Islands. Marine Geology* 63, 1-367.

18. Pilkey, O. H. and Wright, H. L. 1988. Seawalls versus beaches. *Journal of Coastal Research* 4, 41-64.

19. Pethick, J., 1984, *An introduction to coastal geomorphology*: Baltimore, Edward Arnold, 260 p.

20. Pilkey, O. H. and Dixon, K. L. 1996. *The Corps and the Shore*. Island Press, Washington, DC. TC223 P55.

21. Schou,A. (1945) *Det Marine Forland, Folia Geogr. Dcnica,4, pp.1-236*

22. Shepard,F.P. (1963) *Submarine Geology, 2nd ed. Harper & Row, New York, pp.5-54*

23. Shepard,F.P. (1971) *Our Changing Coastlies,New York,pp.551*

24. Slattery, M.,(ed.) 2004, Atlas of Geomorphology on CD., Christian University, Texas.

25. Steers,J.A. (1964) *The Coastline of England and Wales, Cambridge. Cambridge University Press, Second ed.,pp.750*

26. Strahler,A.N. (1969) *Elements of Physical Geography, New York*

27. West,R.C. (1956)*Mangrove Swamps of The Pacific Coast of Colombia, Ann. Assoc. Am. Geogr.,46,pp.98-121*

الفصل الخامس

أشكال الرياح

أولاً : العوامل المؤثرة فى نشاط الفعل النحاتى للرياح فى الصحارى.
ثانياً : عمليات النحت بالرياح .
ثالثاً : أشكال النحت بالرياح .
رابعاً : فعل الرياح كعامل إرساب .
خامساً : أشكال الارساب بالرياح .



الفصل الخامس
أشكال الرياح

مقدمة :

يعــد فعل الرياح من أهم عوامل تشكيل سطح الأرض ، وذلك لأنها تعتبر عامل التعرية الوحـيد – بالإضافة إلى فعل الكارست– الذى له القدرة على العمل لمنسوب أدنى من مستوى القــاعدة العام ، كما تعتبر التعرية بالرياح عامل التعرية الوحيد الذى يعمل على تشكيل سطح الأرض بدون تأثير المياه سواء فى حالتها السائلة مثل التعرية الفيضية والساحلية وفعل الكارست، أو حالــتها المــتجمدة على شكل ثلج مثل التعرية الجليدية . وتسود التعرية بالرياح فى المناطق الصحراوية الحارة الجافة ، بسبب ندرة الغطاء النباتى الذى يعوق إندفاع الريح ، ولكن لايقتصر دور الرياح التحاتى على الصحارى الحارة ، فإن العواصف الترابيــة الحــارة Hot Dusty Storms تهــب من الصحراء الكبرى وتستطيع عبور البحر المتوسط وترسب أطناناً من الغبار والأتربة على سواحل فرنسا وأسبانيا الجنوبية ، ولكن يتوقف نشاط الرياح التحاتى فى تشكيل الصحارى الحارة على مجموعة من العوامل نوجزها فيما يلى (Cooke et al. 1993):

أولاً : العوامل المؤثرة فى نشاط الفعل التحاتى للرياح فى الصحارى:

١– الرياح :

يتوقف النشاط التحاتى للرياح على شدة الرياح وإستمرارها لفترات زمنية طويلة نسبياً وتوجيهها وموسميتها.

٢– الجفاف :

مــن المعلوم أن الرياح تقوم بفعلها التحاتى عن طريق إصطدام حبيبات الرمل والغبار التى تحملها بصخور سطح الأرض ، وعلى ذلك فإن قدرة الرياح على النحت تتوقف على كمــية الرسوبيات التى تحملها الرياح من ناحية ، وحجم هذه الحبيبات من ناحية أخرى ، وبالطــبع إلى جانــب قوة الرياح ذاتها . وهناك علاقة إرتباط عكسية بين الرطوبة النسبية

وقــدرة الــرياح عــلى حمل الرسوبيات ، أى تقل قدرة الرياح على النقل كلما ارتفعت الرطوبة النسبية ، وفى حالة هطول الأمطار تضعف قدرة الرياح على النقل تماماً .

٣-الغطاء النباتى :

يعتــبر الغطــاء النــباتى أهم العوائق الطبيعية التى تعترض هبوب الرياح بالإضافة إلى العوائــط التضاريسية ، ولذلك فإن الرياح تصطدم بها وترسب حولها ماتحمله من رمال ، ولكــن يتوقف تأثير العوائق النباتية على عدة عوامل تتعلق بطبيعة وخصائص الغطاء النباتى وأهم هذه العوامل ما يلى:

(أ) نــوع الغطــاء النباتى : تتعدد أنواع الكساء النباتى بين الغابات والأحراش والحشــائش بأنواعها المختلفة ، وبالقطع فإن الحشائش القصير أقل تأثيراً فى إعاقة هــبوب الــرياح ، والغابات الكثيفة تعد من أكبر عوائق هبوبها وتقلل من التأثير التحاتى للرياح كعامل نحت .

(ب) إرتفاع الغطاء النباتى :هناك علاقة إرتباط طردية بين إرتفاع الغطاء النباتى وإعاقة تأثير الرياح التحاتى ، وبالتالى ترغم الريح على ترسيب حبيبات الرمل حول النبات ، وقام عدد من الباحثين بدراسة هذه العلاقة ومن بينهم Thomas) (Pelton's, 1960 & اللذين درسوا تأثير الغطاء النباتى الذى يتراوح إرتفاعه بين ١٠ و١٠٠ سنتيمتر ، وأقترحوا المعادلة التالية :

$$\log z0 = 0.997 \log 10 H - 0.883$$

(حيث H تساوى إرتفاع النبات الطبيعى بالسنتيمتر)

(ج) كــثافة الغطاء النباتى:من المنطقى أنه كلما كان الغطاء النباتى كثيفاً كلما أعاق التأثير التحاتى للريح كعامل نحت وهناك العديد من الباحثين اللذين حاولوا وضع معادلة لهذه العلاقة ، ولكن تبين أن هذه العلاقة تختلف إختلافاً كبيراً بتباين البيئة الطبيعية للمنطقة المراد دراستها ، فبيئة الكثبان الساحلية Coastal Dunes

تخـــتلف كلـــية عن الصحارى الحارة الجافة وشبه الجافة ولايمكن إطلاق معادلة واحدة تلائم البيئات المتباينة .

(د) مخلفـــات النـــباتات : لمخلفات النباتات المتراكمة فى الأراضى الزراعية دوراً مـــلحوظاً فى تغطية رواسب السطحية والتحكم فى تذريتها وإزالتها بالرياح (Chepil & Woodruff, 1954 and Gillette, 1979)

٤-وعورة وتضرس سطح الأرض Surface Roughness:

تعمـــل الأراضى المضرسة على إعاقة هبوب الرياح القوية ، وترغمها على ترسيب ما تحمله من رواسب ، وتعتبر الحافات الصخرية وخاصة الجروف Cliffsوالحواجز Ridges المـــتعامدة على إتجاه الرياح من أكثر الظاهرات التضاريسية إعاقة لهبوب الريح ، كما أن الـــتغير الفجائى فى درجة إنحدار سطح الأرض يقوم بالأثر ذاته، كما أن الأراضى المموجه تساعد على عمليات الترسيب الريحى .

٥- الأملاح Salt:

تشـــير مجموعـــة الـــتجارب المعملية التى أجريت خلال العقدين الأخيرين من القرن العشـــرين أن لنسبة الملوحة فى صخور القشرة الأرضية دوراً غير مباشراً فى تسهيل تجويتها ميكانيكياً وكيميائياً ، فيسهل بالتالى تذريتها وتخفيض سطح الأرض(Pye, 1985).

٦- القشرة السطحية Crust:

يعـــنى هـــذه العامل بنوع القشرة السطحية ومدى توافر المواد المفككة المهيئة للتذرية بالـــريح ، ومـــدى مقاومة صخور سطح الأرض للبرى والكشط بالرياح ، ويتحدد هذا العامل بعدد من الظروف الطبيعية أهمها ما يلى:

(أ) نـــوع صخور سطح الأرض ودرجة صلابتها ، وأنسجتها الصخرية ، ونسبة المسامية وطبيعة المادة اللاحمة بين حبيبات الصخر .

(ب) البنية الجيولوجية ودرجة تقطع سطح الأرض بنظم الشقوق والفواصل.
(ج) مـــدى توافر الرسوبيات المفككة على السطح وسمكها وحجم حبيباتها ورطوبتها النسبية .

ثانياً : عمليات النحت بالرياح :

تســـهم الـــرياح فى نحـــت وتعـــرية بعـــض أجـــزاء ســـطح الأرض بإحدى العمليتين الجيومورفولوجيتين الآتيتين :-

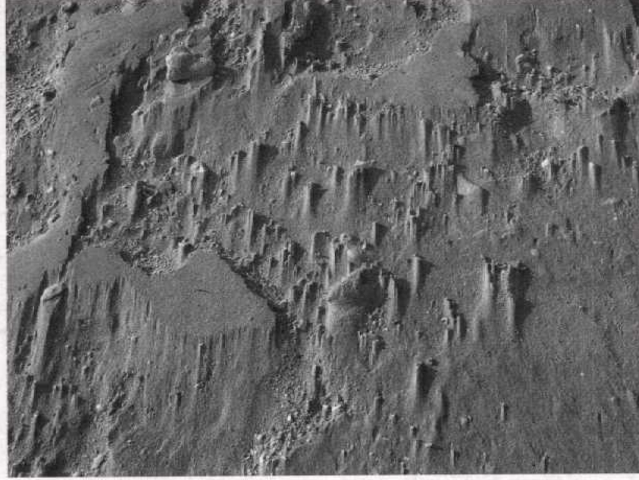
العملـــية الأولى هـــى **التذرية** Deflation وتتم بقوة دفع تيارات الرياح وإحتكاكها بالســـطح ، وتعمـــل بالتالى على جر أو حمل المواد الصخرية المفككة أو الضعيفة التماسك أو المجـــواه، ســـواء المشـــتقة من الرواسب الفيضية أو الجليدية أو رمال السواحل ، ويتوقف تأثير الكشط بالريح على عدد من العوامل هى (Cooke et al. 1993):

"أ" تزداد قدرة الرياح على التذرية مع تناقص الرطوبة الجوية .
"ب" توافر التربة المفككة على سطح المهيئة للتذرية ، بحيث يكون حجم حبيباتها متوافق مع قـــدرة الـــرياح السائدة على حملها، ولوحظ أن حجم الحبيبات المنقولة يؤثر فى سرعة الرياح بنسبة تتراوح بين ١٠-٣٠% .
"ج" تضـــرس سطح الأرض ومدى وجود عوائق أو تغيرات حادة فى درجة إنحدار سطح الأرض تقلل من سرعة الريح وبالتالى قدرتها على التذرية.
"د" كـــثافة ونوع الغطاء النباتى السائد فى المنطقة فالكساء النباتى يعد أحد أشكال إعاقة الريح .

تقدير معدلات تذرية الرياح Rates of Deflation:

كما حاول العديد من الباحثين تقدير معدلات تذرية الرياح ، فقد قدر (Gibbens et al.,1983 , Hennessey et al.,1986) سمك التربة الرملية المفككة التى تمكنت الرياح من تذريتها بحوالى ٦٤،٦سنتيمتر فى منطقة متاخمة لمدينة " نيومكسيكو" تخلو من الغطاء النباتى خلال

الفترة بين ١٩٣٣ و١٩٨٠. كما قدر (Boulaine, 1954) معدل التذرية بالرياح فى صحراء الجزائر بحوالى ملليمتر واحد سنوياً ، ، أما "ويلسون" (Wilson,1971) يرى أن معدل التذرية السنوى يتراوح بين نصف ملليمتر إلى ملليمترين سنوياً فى ضوء نتائج دراسته فى منطقة "بيسكرة" فى صحراء الجزائر . وفى "بيرو " قام(lettau,1969) بحساب معدل تذرية الرمال من بعض الكثبان الهلالية وخلص إلى أن هذا المعدل يتراوح بين ٠،١٥ و٠،٢٢ ملليمتر سنوياً (صورة ٥-١).



صورة (٥-١) آثار عملية تذرية الرياح لحبيبات مفككة من الرمل على سواحل البحر الأحمر شمال مدينة "رأس غارب" (تصوير المؤلف فى يوليو ٢٠٠٣)

أما العملية الثانية من عمليات النحت بالرياح فهى **البرى** Abrasion ، وهى تتم بقوة الريح المسلحة بذرات الرمال، فتعمل على كشط الأجزاء الضعيفة من الصخر التى تستجيب للنحت والإزالة وتتم هذه العملية على إرتفاع قريب من سطح الأرض لا يتعدى المترين .

تقدير قوة البرى بالرياح :

وحـــاول عــــدد مـــن الباحثين تقدير قوة البرى الناتجة عن إصطدام الرياح وحمولتها من الرواسب بسطح الأرض ومن بينهم (Marshall, 1979) الذى أقترح المعادلة الآتية لقياس قوة البرى بالريح (A)بالاعتماد على التجارب المعملية :

$$A=Sa\text{Þ}p(V\sin\alpha-V0)^{n}\ (D-D0)m$$

(حيــث Sa تساوى مدى قابلية مواد السطح للنحت التى تتوقف على الصلابة والعوامل الأخـــرى الـــتى سبق الإشارة إليها ، **Þp** تعبر عن حجم حبيبات الصخرى ، **α** تساوى زاوية إصـــطدام الـــريح بســـطح الأرض ، **V** = سرعة هبوب الريح ، أما **V0, D0**= سرعة تحرك الحبيبات وقطرها .

ثالثاً : أشكال النحت بالرياح :

فيما يلى عرض لأهم الأشكال الجيومورفولوجية الناجمة عن النحت بفعل الرياح :

١- الوجه ريحيات Ventifaces –Ventifacts- Wind Kanters:

يُطلـــق علـــيها أحياناً تعبير الحصوات المنشورية Dreikanter أو الحصوات المشطوفة الأوجـــه Ventifaces ، وتنشـــأ عـــن الصقل المستمر لأحد أوجه الحصوات المواجه للرياح السائدة مما يسهم فى كشطها وتآكلها المستمر، ويشير عدد الأوجه المشطوفة إلى عدد إتجاهات الرياح السائدة بالإقليم ، فهناك حصوات ثنائية الأوجه، والثلاثية الأوجه ، وتتراوح أبعادها من بضعة ملليمترات إلى المتر الكامل .. وقد لوحظ إختلاف تأثر أنواع الصخور بالكشط ، فنجد أن الحصـــوات المكونـــة من الحجر الجيرى سرعان ما تستجيب للصقل ، بينما يصمد الصوان لفـــترات زمنـــية طويلة نسبياً أمام هجمات الرياح . ويمكن تصنيف حصوات الوجه ريحيات حسب أبعاد أقطاراها وتباين أسلوب تشكيلها إلى الأنواع الآتية (Cooke et al. 1993):

(أ) الوجه ريحيات الصغيرة الحجم Small Ventifacts:

وهى الحصوات ذات الأوجه المنحوتة بالريح بشرط أن تقل أبعاد أقطارها عن عشرة سنتيمترات ، ويتراوح عدد أوجهها المصقولة بين وجهين أو ثلاثة أوجه ، وهى تتأثر برياح تتراوح زاوية هبوبها على سطح الأرض بين ٤٥ و٧٠ درجة .

(ب) الوجه ريحيات الأصلية الشكل Original Shape Ventifacts:

يـــرى بعـــض الباحثين أن عدد أوجه الوجه ريحيات يعتمد فى المقام الأول على الشكل الأصلى للحصوات الصخرية قبل تأثرها بعوامل البرى بالريح ، وقد أعتمد أصحاب هذه الرأى على الملاحظات الحقلية والتجارب المعملية (Greeley & Iverson,1985) .

(ج) الوجه ريحيات المتعددة الأشكال Multi-modal Ventifacts:

يرتـــبط هذه النمط من الوجه ريحيات بعدد وإتجاه الرياح التى تهب على المنطقة ، وتؤثر بالكشط والبرى فى الحصوات المتناثرة على سطح الأرض .

٢- تضاريس الياردانج – الحرافيش Yardangs:

أطلق هذا المصطلح لأول مرة على بعض الأشكال الصخرية العربية حفرت فى الرواسب البحيرية القديمة فى صحراء تركستان ، وقد يطلق عليها أيضاً تعبير "أشكال الزوجين Zeugen Landforms" وهو مأخوذ عن اللغة الألمانية ، ولكن يفضل إطلاق هذه التعبير على الأشكال الأرضـــية المتكونة عن نحت وبرى الأجزاء الهشة من الطبقات الأفقية ، وكما يطلق عليها أيضاً اسم الأسطح الصخرية المحفورة Grooved Surface ، أما الأجزاء الصخرية التى تتحول إلى الشـــكل الأملـــس بـــتأثير الاحـــتكاك بالرياح فيطلق عليها اسم الأسطح الصخرية المصقولة Poliched Surface (حسن أبو العينين ، ١٩٩٥).

وتـــتكون ظاهرة الياردانج أو الحرافيش من أخاديد وقنوات طويلة ضيقة، تفصل فيما بيـــنها أعـــداد من الكتل الحجرية المستطيلة تشبه ضلوع الحيوان ، يتراوح إرتفاعها بين المترين

والخمسين متراً ، تشكلت بسبب إصطدام الرياح المحملة بذرات الرمال ، فتمكنت من كشط وتخفـيض المواضع الضعيفة دون الصلدة . كما تسهم نظم الفواصل المتوازية الطويلة فى تشكيل تضاريس الياردانج ، ومن أمثلتها تلك المتناثرة بمرتفعات تبستى جنوب الصحراء الليبية ، وتنتشر أيضـاً على هوامش منخفض الخارجة والصحراء البيضاء على تخوم منخفض الفرافرة بالصحراء الغربية المصرية .

وقـد تـتكون أشكال ضخمة من الياردانج Mega Yardang بسبب هبوب الرياح العاتية وتخوير بعض الحافات الطولية المتوازية وتقطيعها بالبرى النشط ، ومن أمثلتها حول منطقة " كـالوتس Kaluts " فى صـحراء "لـوت Lut " فى إيران (صورة ٥-٢) ، كما تتكون تضـاريس الـيادنج بـتأثير عمليات البرى فى أسطح السبخات والبحيرات الجافة خلال عصر الهولوسين ، وإعادة الكشط الإنتقائى لأجزاءها الهشة دون الصلبة ، بمعدل يتراوح بين ٢،٥ إلى ٥ أمتار كل ألف سنة (Goudie,2004) .



صورة (٥-٢) صورة جوية مائلة لأشكال الياردانج الطولية المتوازية
فى صحراء "لوت" Lut الإيرانية

٣- المنخفضات الصحراوية Depressions:

مــناطق حوضية مغلقة بالصحاري تغور تحت السطح بضعة أمتار وحتى مئات الأمتار ، وتــترامى قــيعانها لتصل إلى الآف الكيلومترات المربعة ، أكبرها مساحة وادى السرحان المغلق بالمملكة العربية السعودية (٢٥ ألف كم٢) ، ومنخفض القطارة بالصحراء الغربية المصرية (٢٠ ألــف كــم٢) . وتخــتلف أشكال هذه المنخفضات بين المستدير المتسطح الجوانب كالجفر بــالأردن، وحــوض فزان بليبيا ، والشريطى المتعرج كمنخفضات الواحات الخارجة والداخلة المصــرية ، والأهليــلجى كمنخفض البحرية ، والمستطيل المغلق كوادى السرحان السعودى ، ويتوقف شكل وأبعاد المنخفض على ظروف نشأته (صلاح البحيرى ، ١٩٧٩ "ب") (صورتا ٥-٣ ، ٥-٤) .

وتتشــكل المنخفضات الصحرواية بــتأثير عوامــل الــتحلل المــائى والبرى والإكتســاح بالــرياح، وإعادة إنكشاف السطح أمام المؤثرات الخارجية مرة أخرى، ولكــن يرتبط تشكيل المنخفضات بأحد عوامل الضعف الجيولوجى الآتية :-



صورة (٥-٣) صورة جوية لواحة صحراوية محاطة بالكثبان الرملية

"أ" خطوط الإنكسار ونظم الفواصل الصخرية :

تسمح خطوط الضعف الخطية بنفاذ عوامل التعرية داخل الصخر فتضعفه، وتعمـــل على تعميق السطح وتوسيعه وتسهيل مهمة الإكتساح والإزالة الهوائية ، وتعــد منخفضـــات الهضـــبة الشرقية للأردن من أوضح الأمثلة لهذا النوع من المنخفضات الصحراوية ، وأيضاً وادى السرحان الأخدودى الهابط بالسعودية .

"ب" الثنيات المحدبة :

مـــن المعروف أن قمم الثنيات المحدبة تشكل أضعف أجزاءها ، ولذا تظهر عـــلى سطوحها مجموعة من الفواصل الطولية ، تنفذ خلالها عوامل التحلل المائى والـــتفكك الحــــراري ، ثم تكتسح موادها المجواه بالرياح ، فتتسع هذه الشقوق وتـــتعمق بإطراد ، ومن أمثلتها منخفض الواحة البحرية الذى نشأ في بنية قبابية ، والواحات الخارجة التى يرتبط وجودها بطية محدبة بسيطة .

"ج" الثنيات المقعرة :

تســـمح البنيات الصخرية المقعرة بتجمع الماء الباطني وتسربه تحت سطح الأرض ، وتعمل الخاصية الشعرية على رفع منسوب المياه نحو السطح مرة أخرى، فتساعد على تحلل مكوناته وإكتساحها بالريح .

"د" خطوط التماس الجيولوجى :

نطاقـــات حدية فاصلة بين التكوينات الجيولوجية المختلفة ، تتكون على حوافها بعض الحفر والفجوات ، وكثيراً ما تلتحم مع بعضها مكونة نطاقاً غائراً مـــن الســـطح ، مـــثل نطاق الإلتحام الصخري بين الطفوح البازلتية الصلبة مع الصـــخور الكلســـية الصوانية بمجموعة المنخفضات الأردنية والسعودية ، وخط

التماس الجيولوجى بين تكوين مارماريكا الجيرى وتكوين المغرة الرملى بمنخفض القطاره (المؤلف، ١٩٩٦).



صورة (٥-٤) مرئية فضائية لواحة "تركزى Terkezi Oasis "فى تشاد

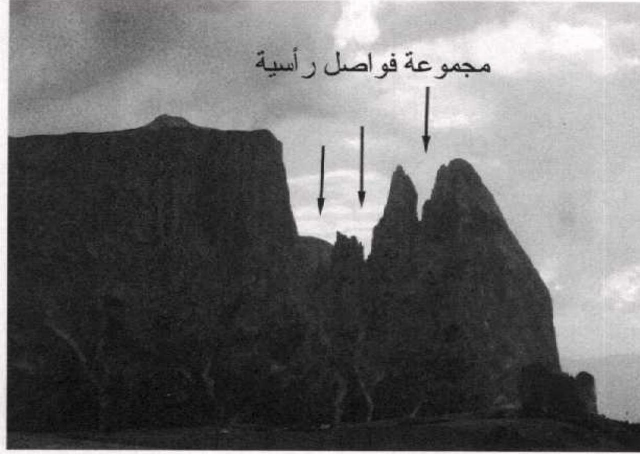
٤- ثقوب أو كهوف الرياح Wind Caves – Wind Blowouts:

عـــبارة عن تجاويف تنحت فى الأجزاء اللينة من الصخور ، حيث تعمل الريبح على جر وحمل المفتتات والمواد الصخرية المجواه ، وتترك وراءها بعض الفجوات المتواضعة الإتساع المحددة المســـاحة ، ترتبط أساساً بالأحجار الرملية والجيرية فى المناطق المكشوفة من الغطاء النباتى التى تتميز بالجفاف ، وقد تتسع هذه الفجوات نتيجة استمرار تأثير عملية البرى وتذرية المواد المجواه، وتتسع هذه التجاويف وتتصل مع بعضها مكونة كهوف كبيرة الحجم يطلق عليها اسم كهوف الرياح Wind Caves ، وهى تتشابه فى خصائصها الشكلية مع الكهوف البحرية Marine Cavesالــتى تنشــأ عن عملية النحت بالأمواج . وقد تتحول هذه الكهوف إلى جسر طبيعى

Natural Bridge إذا مـــا أتصل كهفين متقابلين عبر أحد العيوب الصخرية ، تشبه الجسور الطبيعية التي تنشأ عن التعرية بفعل الأمواج [1].

٥- المداخن الصحراوية Rock Chimneys :

أحد الأشكال الجيومورفولوجية المركبة النشأة ، تتكون بسبب توسيع الشقوق والفواصل الرأسية المستمر ، نتيجة توغل المؤثرات الحرارية والإذابة بفعل المياه ، حتى تنفصل بعض الأعمدة الرأســية عن الحافة المجاورة لها ، بعد إكتساح الرياح للمواد المجواه لتقف هذه المداخن صامدة بإرتفاع يصل لعشرات الأمتار (صورة ٥-٥).



صورة (٥-٥) مجموعة فواصل رأسية متوازية تعمل على الإنفصال التدريجي لمجموعة من المداخن الصحراوية عن طريق توغل عمليات التجوية وتذرية المواد المجواه بالرياح ، في جبال دولوميت في شمال إيطاليا (تصوير المؤلف في أغسطس ٢٠٠٤)

[1] راجع مورفولوجية وكيفية نشأة الكهوف والجسور البحرية في فصل أشكال السواحل .

٦- الجمال الصحراوية **Desert Camels** :

مظهـــر صحراوى طريف يتكون من تذرية الريح في الأحجار الرملية الجيرية على وجه الخصوص ، فقد تتخذ أحياناً بعض الأشكال المألوفة للبشر ، مثل الجمال الصحراوية أو رؤوسها فقط ، أو الأبقار ... وغيرها

ومما يذكر أن هناك كتلة صخرية كبيرة الحجم تشبه رأس الرئيس الأمريكي الراحل جون كيندي تقف رابضة شمالى مدينة شرم الشيخ ، كانت تستغل سياحياً أثناء الإحتلال الإسرائيلى لسيناء .

٧- حفر التذرية **Deflation Hollowa**:

تـــتكون حفـــر الـــتذرية حيـــنما يتعرض سطح الأرض لإزالة الأتربة والرمال تاركة وراءهـــا حفـــراً تغور لبضعة سنتيمترات ، وقد تتسع فجواهما لتصل لعدة كيلومترات ، وتزيد أعماقهـــا عـــن المائـــة متر ، مثل الفجوات المتناثرة بصحراء منغوليا . وقد درس المؤلف بعض الفجوات الطولية الإنكسارية النشأة شمالى منخفض القطارة ، حيث تتبعثر حفر التذرية الطولية موازيـــة للحافة الشمالية للمنخفض ذاته ، وتشير إلى إحتمال تكونه بنفس الأسلوب (المؤلف ، ١٩٩٦).

ويكثر وجود حفر التذرية بالمناطق المكونة من الأحجار الرملية خاصة فيما بين الكثبان، حيث تتركز التيارات الهوائية بين التلال المتجاورة ، وتشتد طاقتها فتعمل على تذرية الرمال من السطح بسرعة ، فتشكل بعض الحفر الطولية موازية لإتجاه الريح السائد.

٨- الأعمدة الترابية **Earth Pillars** :

الأعمـــدة الترابية من الأشكال الناجمة عن فعل النحت بالرياح ، في ظل ظروف التجوية الكيميائـــية بماء المطر ،كالأهرام الترابيـــة Earth Pyramids ، والأصابـــع الترابيـــة Earth Fingers وغيرها .

وتتكون الأعمدة الترابية من رؤوس طويلة قائمة تنتهى فى أعلاها بكتل جلمودية أصلب مـــن الأجزاء المرتكزة عليها ، ويتراوح إرتفاعها بين ٨ و ١٠ أمتار . فإن الكتلة العلوية كانت تقـــع فى الأصـــل على سطح الأرض مباشرة ، حيث تمكنت عوامل النحت من تآكل الطبقة الســـطحية الليـــنة فظهرت هذه الكتلة ناتئة فوق السطح يتوجها الجلمود ، وقد تتشكل الطبقة السطحية فى صخور أفقية أو مائلة (صورتا ٥-٦ و٥-٧).

ولعـــل أحسن الأمثلة لهذه الأعمدة توجـــد فى إقلـــيم التيرول ، حيث ميزها المؤلـــف فى منطقة Drof Tirol فى شمال إيطالـــيا ، وإقلـــيم الـــبادلاند فى أمريكا الشـــمالية . وتسمى الأعمدة الترابية بعدة أسمـــاء محلـــية مـــنها الهودو Hoodo فى أمـــريكا، ودموازيل Demoiselles فى الألـــب الفرنسية وبنتنتس Penitents فى أمريكا الجنوبية .



صورة (٥-٦) أعمدة ترابية فى منطقة Drof Tiol شمال إيطاليا كمظهر تضاريسى متبقى عن عمليات الانهيار والزحف الأرضى للمنحدرات (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٤)



صورة (٥-٧) أعمدة ترابية فى طور التكوين فى منطقة Drof Tirol شمال إيطاليا
(تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٤)

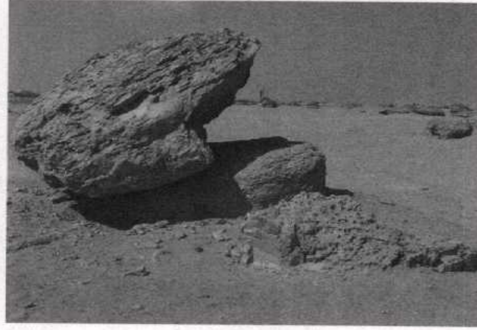
٩- البطيخ المصقول :

يعـــد البطـــيخ الصخري المصقول من الأشكال الجيومورفولوجية التي أثارت العديد من التســـاؤلات عند محاولة تفسير نشأتها ، حيث تنتشر هذه الظاهرة شمال منخفض الفيوم ببضعة كيلومترات ، على شكل حقل متسع من الربوات المتصلبة تتخذ بعضها الشكل النصف كروي، والـــبعض الآخر يظهر كأجراس الكنائس ، ويتفاوت إرتفاعها بين بضعة ديسيمترات ونحو المتر الكامل (صورتا ٥-٨ و٥-٩).

ولعل أقرب التفسيرات لنشأة هذه الروابى ، ما ذهب إلى إفتراض تشكيلها نتيجة النحت والإكتســـاح بالرياح في ظل وجود بعض العقد الصوانية الصلبة تركزت في بعض أجزاء الحجر الرملى فأكسبته بعض الصلابة أمام فعل البرى بالريح .



صورة (٥-٨) إحدى كتل البطيخ المصقول فى منطقة كوم أوشيم على الأطراف الشمالية لمنخفض الفيوم ، لاحظ القشرة الجيرية المتصلبة على سطح الكتلة التى تعمل على حمايتها من عوامل النحت (تصوير المؤلف فى يوليو ٢٠٠٤)



صورة (٥-٩) إحدى كتل البطيخ المصقول المصقول فى منطقة كوم أوشيم على الأطراف الشمالية لمنخفض الفيوم تأثرت بعمليات التجوية الميكانيكية (الكسر عبر الخطوط المستقيمة) والكيميائية (الثقوب المحفورة على السطح العلوى للكتلة والقاعدة السفلى) (تصوير المؤلف فى يوليو ٢٠٠٤)

١٠- الكبارى الطبيعية Natural Bridges :

تتميـــز الكـــبارى الطبيعية بتعدد العوامل المساهمة فى تشكيلها ، فقد تنشا نتيجة النحت الـــنهرى مثل بعض الروافد العليا لهر "شوكا Soca " فى سلوفنيا التى تنبع من جبل "تريجلاف

Triglave "، كمـــا تـــتكون هـــذه الظاهرة نتيجة فعل الإذابة في التكوينات الجيرية بالأقاليم الرطـــبة، وقد تتشكل أيضاً بفعل نشاط النحت البحرى ، مكونة الأقواس أو الكبارى البحرية Marine Arches-Bridges[1] .

وعـــلى الـــرغم من تشابه المظهر المورفولوجي العام للكباري الصحراوية مع الأشكال السابقة ، إلا أن عامل النشأة يختلف ، فنجد أنها تتكون نتيجة نشاط الإكتساح بالرياح للمواد المجواه عبر نطاقات الضعف الجيولوجى .

١١- الأنياب الصخرية :

بـــروزات أو مســـلات صـــخرية تنشـــأ عن توسيع الشقوق والفواصل عبر الحافات الصـــخرية المكونـــة مـــن الحجـــر الرملى والجيرى ، ويطلق هذا التعبير محلياً فى شبه الجزيرة العربية .

١٢- الأسطح الصلدة Pan Surfaces :

عبارة عن منخفضات ضحلة بيضاوية الشكل ذات أسطح مصقولة ملساء بتأثير الاحتكاك بالـــرياح ، تتمـــيز هوامشها بمنحدراتها الهينة ، وتتمركز بها مسطحات البلايا والسبخات التى تـــتجمع بهـــا المياه المختلطة بالرواسب الطفلية والصلصال ، وهذه المسطحات تعمل كمستوى قاعدة محلى للمسيلات المائية التى تنجح فى تقطيع هوامش هذه المنفضات المغلقة . وتنتشر هذه الظاهرة فى سهول البامبس Pampas فى الأرجنتين ، وفى إقليم بانتنال Pantanal فى البرازيل، ودلـــتا نهـــر السنغال وجنوب غرب أستراليا ، وفى زائير ، وموزمبيق ، وشبه جزيرة منشوريا (Cooke et al. 1993).

[1] راجع كيفية تكوين الأقواس والأنفاق الطبيعية وخصائصها اللمورفولوجية فى فصل أشكال السواحل من هذا الكتاب

رابعاً : فعل الرياح كعامل إرساب :

إن الارساب الريحى ليس قاصراً على المناطق الصحراوية ، فهناك ارسابات رملية فى مناطق غـــير صـــحراوية مـــثل شـــواطئ البحار والمحيطات ، وعلى ضفاف الأنهار فى العروض شبه الصحراوية، وفى الأجزاء ذات الأحجار الرملية المتأثرة بعمليات التفكك الصخرى ، وغيرها ...

١- المواد المنقولة بالرياح :

تـــتعدد المـــواد المـــنقولة بالـــرياح سواء من حيث مصادرها أو أحجام حبيباتها وخصائصها المورفولوجـــية ، وأهمها الغبار Dust: يتم تحديد الغبار على أساس حجمى إذ لاتتجاوز أحجام حبيـــباتها أكثر من ٧٠ ميكرون ، حيث يطلق اسم غبار دقيق Fine Dust على الحبيبات التى يقـــل قطرها عن ٢٠ ميكرون ، أما الرمال Sand فهى عبارة عن حبيبات تتراوح أقطارها بين ٧٠-١٥٠ مـــيكرون .وتحدث عملية الترسيب بالرياح نتيجة حركة الرمال والأتربة والغبار مع الطـــبقة السطحية من تيارات الهواء الملاصقة لسطح الأرض ، وميز Bagnold, 1936 ثلاث وسائل تتم بها حركة الحبيبات الرملية هى (صورة ٥-١٠) :-

(أ) التعلق Suspension :

تـــتحرك بهذه الطريقة الحبيبات الدقيقة التى تقل أقطارها عن ٠,٢ مم ، وتظل الحبيـــبات عالقة مع التيارات الهوائية السطحية لمسافات بعيدة قبل إلقاءها على سطح الأرض ، عـــند ســـكون الرياح أو اصطدمها بأي عائق ، ولا تسهم هذه الطريقة إلا بقدر يسير من حجم الترسيبات الهوائية .

(ب) القفز Saltation :

تدين معظم الحبيبات الرملية التى تزيد أقطارها عن ٠,٢ مم إلى الحركة بالقفز مع الهـــواء ، وذلـــك لأن التيارات الهوائية السطحية لا تكون منتظمة الانسياب ، وتندفع عـــادة كهبات صاعدة سرعان ما تهدأ مرة أخرى ، ومع كل دفعة هوائية تحمل معها

ذرات الـــرمال قافزة لأعلى فتتحرك قدما لمسافات تتناسب مع سرعة الريح وأحجام الحبيبات المنقولة ، ولذا تتخذ كل حبة مساراً مقوساً في الهواء شبه اهليلجي ، وحينما تصـــطدم هذه الحبيبات بسطح الأرض ، قد يتحرك بعضها لأعلى مرة أخرى، ليكرر حركـــته المتقدمة من جديد، والبعض الآخر يستقر مؤقتاً في موضع سقوطه تبعاً لقوة الدفع الهوائى للحبة القافزة .

(ج) الزحف السطحى Surface Creep :

قد تكون شدة التيارات الهوائية غير قادرة على دفع بعض الحبيبات الرملية الكبيرة بالقفز لأعلى ، فتبدأ بالزحف على السطح ، وتتقدم فى حركة بطيئة متقطعة فى الإتجاه العام للرمال القافزة مع الريح ، وينتهى مصير الحبيبات الرملية المتحركة بأى صورة من صور الحركة السابقة إلى الإستقرار على سطح الأرض متخذا أحد الأشكال الثلاثة الآتية:

"١" الترسيب Sedimenation:

تحـــدث عملية الترسيب في حالة ضعف طاقة التيار الهوائي ، أو حينما تـــزيد الحمولـــة المنقولة بالنسبة لشدة الرياح الناقلة لها ، عندئذ لاتجد بعض الحبيبات أو كلها القوة الدافعة لاستكمال رحلتها فسرعان ما تهدأ أو تستقر على السطح .

"٢" حشو الفراغات Accretion:

أحياناً تجد بعض الحبيبات القافزة أو الزاحفة بعض الثقوب أو الفجوات الملائمة لإستقرارها على السطح ، فتعمل على حشوها والإستقرار بداخلها .

"٣" التوقف والتكدس Stoppage and Encroachment:

تحدث هذه العملية إذا ما اعترضت مسار الرياح عقبة ، فتتوقف حركة الرمال الزاحفة بوجه خاص ، ولكن قد تتمكن بعض الرمال القافزة فى الهواء

من مواصلة رحلتها. وهناك عدة أنماط لهذه العقبات منها العقبات الطبوغرافية الموجبة كالحافات والتلال والروابى ، وأيضاً الشجيرات ، أو الأعمدة والأسوار وغيرها من أوجه التدخل البشرى. وأحياناً ما تكون العقبة الطبوغرافية سالبة مثل التغير الفجائى فى درجات الإنحدار عند المقعرات الأرضية ، وأيضاً المنخفضات والحفر والنتوءات . وكثيراً ما تعمل الرطوبه الأرضية كعقبة تعوق حركة الرمال ، حيث تساعد على تماسك الرمال فتشل حركتها وتمنع تقدمها.



صورة (٥-١٠) مرئية فضائية توضح أنواع مختلفة من الكثبان الرملية تغطى صحراء ناميب فى ناميبيا
Namib Desert, Namibia

خامساً : أشكال الارساب بالرياح Eolian Deposition Features:

تعد أشكال الارساب الناجمة عن فعل الرياح بالصحارى أكثر شيوعاً من أشكال النحت، ويمكن تقسيم هذه الأشكال إلى وحدتين هما : التجمعات الرملية (الارساب الرملى) Sand Accumulation وإرســـابات اللوس Losses Deposition التي حدثت خلال عصر البلايستوسين ، ولكن سوف نكتفى هنا بدراسة الوحدة الأولى بسبب إرتباطها بالأقاليم الجافة من سطح الأرض .

التجمعات الرملية (الإرساب الرملى) Sand Accumulation:

هناك العديد من الأشكال الجيومورفولوجية التي تنشأ عن الارساب الهوائي للرمال، فهناك التجمعات الرملية المقيدة ، أى التي ترتبط في تكوينها وتدين إلى وجود عوائق طبيعية كالنباتات، وهـــناك التجمعات الرملية الحرة أي غير المقيدة . ولكن لازالت ميكانيكية هذه الأشكال غير واضـــحة حتى الآن ، وعلى الرغم من هذا التحفظ يمكن تمييز أهم هذه الأشكال فى مجموعتين هما:

(أ) مجموعة الأشكال الرملية الدقيقة

تشتمل هذه المجموعة على بعض الأشكال الرملية الصغيرة الحجم وأهمها :

نيم الرمال – علامات النيم – نيم الرياح Ripples :

يرتبط تشكيل نيم الرمال (النيم) ارتباطاً وثيقاً بعملية التذرية ، فإذا تحركت حبات الرمل القافزة على سطح رملي عديم الانتظام ، أي مموج التضاريس فإن السفوح المواجهة للرياح ستصطدم بها هذه الحبات أكثر من السفوح الواقعة في ظل الرياح ، وكذلك فعملية الزحف على السطح المواجهة للرياح ، ستكون أشد من السطح المضاد، ونتيجة لتوالى وتكرار هذه العملية مع كل لفحة للريح ، يزداد تضرس التموجات الرملية ، ولكن فى نفس الوقت كلما ارتفعت قمم النيم فإنها تتداخل

بإطراد، حيث تسفى حبات الرمل من القمم وترسب فى الأحواض ، ولذا نجد أن الإرتفاع الأقصى الذى يبلغه النيم يكون محدوداً .

(ب) مجموعة الأشكال الرملية الكبرى:

تشـــتمل هذه المجموعة على الأشكال الجيومورفولوجية الكبيرة الحجم وهى تشتمل على نمطين أساسيين هما :

النمط الأول : التجمعات الرملية حول العقبات (الجيوب الرملية) :

"أ"ظلال الرمال Sand Shadows:

عـــند وجـــود أى عقبة موجبة في مهب الريح المحملة بالرمال كجلمود مثلاً ، تـــتراكم الـــرمال عند قاعدة العقبة المواجهة للرياح ، وتتساقط بعض الذرات الدقيقة العالقـــة بـــالهواء عـــلى الجانـــب المحمى خلف العقبة ، ومع استمرار تراكم الرمال تغطـــى معظـــم أجـــزاء العقبة فتنهال الرمال على الجانبين معاً ، ويتوقف نمو كومة الرمل عند هذا الحد ، ويطلق عليها فى هذه الحالة اسم ظل الرمل Sand Shadow، أمـــا إذا كـــان العـــائق عـــبارة عن شجيرة، فيطلق على الكومات الرملية المتراكمة حولهـــا اســـم النـــباك أو النبكات Mounds وخاصة بالمسطحات السبخية الملحية (صورة ٥-١١).



صورة (٥-١١) تراكم الرمال عند إصطدامها بالنباتات الصحراوية مكونة نباك لايتجاوز إرتفاعها ٥٠-٦٠ سنتميتر فى منطقة "الزعفرانة" على ساحل البحر الأحمر
(تصوير المؤلف فى يوليو ٢٠٠٣)

"ب" الأشرطة الرملية **Sand Drifts**:

حينما تهب الرياح فوق أسطح الهضاب المستوية فى إتجاه حوافها ، فإنها كثيراً ما تلقـى بحمولـتها عند قواعد هذه الحافات المحمية من تأثير الريح على شكل كومات طولية موازية لامتدادها ، وإذا كانت الحافة مقطعة بالمسيلات الجبلية ، نجد أن الرمال تتكاثف وتغطى مداخل هذه المسيلات الخانقية (صورة ٥-١٢).



صورة (٥-١٢) أشرطة رملية ترسبت عند إعتراض حافة جبال الحجر -بسلطنة عُمان- لإتجاه الريح فأرغمتها على ترسيب ما تحمله من رمال (تصوير المؤلف فى مايو ٢٠٠٤)

النمط الثانى : الكثبان الرملية Sand Dunes :

يعــرف الكُثيب على أنه كومة من الرمال المتحركة لا تدين في نشأتها وتشكيلها إلى أي عــائق ثابــت أمــام الرياح ، سواء كان هذا العائق طبيعياً أو بشرياً ، وعادة ما تتكون فوق السطوح المستوية .

ويطلق على تجمعات الكثبان الرملية العديد من المسميات مثل المستعمرات الكُثيبية Dune Colonies أو السلاسل الكُثيبية Dune Chains ، أو الكثبان المركبة أو التجمعات الكُثيبية Dune Complexes .

تعــد الكثبان الرملية أهم الظاهرات الناجمة عن الارساب الهوائي ، وهى تتخذ العديد من الأشكال الجيومورفولوجية التي يمكن تصنيفها تبعاً لعدد من العوامل هي :-

١- إتجاه الرياح السائدة .

٢- حجم الكُثيب .

٣- شكل ترسيب الكُثيب ومدى تعقده .
٤- بيئة ترسيب الكُثيب .
٥- أسلوب نشأة الكُثيب .
٦- درجة تطور ونمو الكُثيب .

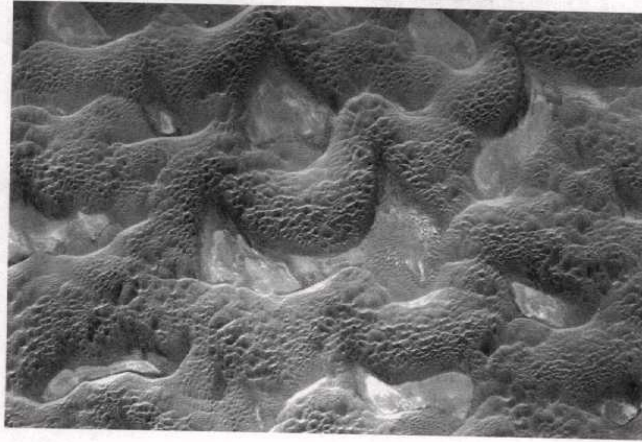
وتعتبر الكثبان الرملية من أغرب مظاهر الأشكال الأرضية ، بسبب ما يحيط بظروف النشأة وعوامل التشكيل من غموض ، فهذه الكثبان تشبه الكائنات الحية ، فهى تولد وتنمو وتتحرك وتتوالد وتهرم فتموت لتدفن ، كما أنها تتخذ العديد من الأشكال وفيما يلي عرض لأهم مظاهرها (صلاح الدين بحيرى ، ١٩٧٩"أ") :

(أ) الكُثيب الهلالى " البرخان " Barchan- Crescentic Dunes :

مصطلح برخان Barchan تركستانى الأصل ، وهو عبارة عن كثيب قوسى الشكل ، يتميز بوجود طرفين يمتدان إلى الجهة التى تندفع نحوها الرياح ، ويظهر جانب البرخان المواجه للرياح محدباً طويلاً هين الإنحدار (٦-١٧ درجة) ، ويطلق عليه تعبير ظهر الكُثيب ، أما جانبه الآخر فيبدو مقعراً شديد الإنحدار (٣٣-٣٥ درجة) ويسمى بواجهة الكُثيب .وينبغى توافر ثلاثة شروط لتشكيل الكثبان الهلالية هى (صورتا ٥-١٣ ، ٥-١٤ وشكل ٥-٥) :-



صورة (٥-١٣) كثيب هلالى بالقرب من قرية "الشويب" بدولة الإمارات العربية المتحدة
(تصوير المؤلف فى أبريل ٢٠٠٤)



صورة (٥-١٤) صورة جوية رأسية لكثبان هلالية فى القسم الجنوبى الغربى من إمارة أبوظبى ، لاحظ إمتداد قرون البرخانات فى إتجاه منصرف الريح

١- إنتظام هبوب الرياح من إتجاه ثابت معظم الفترات .
٢- تنقل الرياح في حركتها حمولة متوسطة من الرمل ، أى ليست كميات ضخمة أو شحيحة .
٣- تراكم الرمال على سطح مستو تفرشه الحصرات ويخلو من الغطاء النباتى . وإذا لم يـــتوافر للكثيب الشروط الثلاثة السابقة ، وإذا حدث أى إختلاف في عناصر بيئة البرخان الطبيعية تحول عنه إلى أى نمط آخر من الكثبان .

وتنشأ الكثبان الهلالية بتحول كومات الرمال العفوية تدريجياً إلى كثبان متحركة مع الريح، لأن الجوانب المواجهة للرياح تتعرض لإزالة الرمال عند قواعدها وتراكمها عند القمم ، فتتحول الأكـــوام إلى تـــلال غير منتظمة الإنحدار على جانبيها ، وتصبح الجوانب المواجهة للريح هينة الإنحـــدار والأخرى شديدة الإنحدار بسبب إنهيار الرمل على سفوحها، فيزحف الكُثيب ببطء للأمـــام ، ولكن يتفاوت معدل تحرك أجزاء الكُثيب ، فالأطراف تتقدم على كلا الجانبين أكثر مـــن وسطه ، بسبب تزايد سرعة الرياح عند الطرفين ، ولذا تنعطف هذه الأطراف وتمتد على شكل قرنين Horns ، ويصبحان فى مأمن من الرياح الشديدة (شكلا ٥-١ و٥-٢).

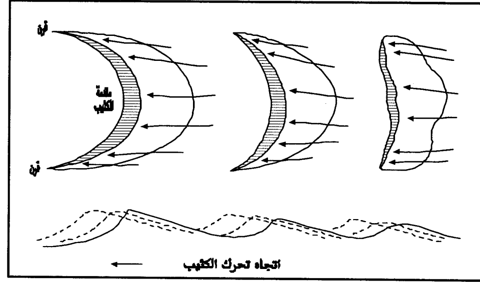
ويسود هذا الشكل من الكثبان فى جنوب الربع الخالى دون بقية أجزاء شبه جزيرة العرب، وخاصـــة فى صحراء "الأحقاف" ، وتسهم الرياح الشمالية الشرقية والجنوبية الشرقية فى تكوين برخانات فى هذا النطاق الصحراوى القاحل (Holm,1960: 1374) وهو ينقسم إلى شكلين هما :

"١" الحواجز الهلالية البسيطة Simple Crescentic Ridges:

"٢" الحواجز الهلالية المركبة Compound Crescentic Ridges:



شكل (٥-١) تقدم الكُثيب عن طريق دفع حبيبات الرمل على ظهر الكُثيب من مؤخرته نحو مقدمته



شكل (٥-٢) تحرك الكُثيب الهلالي بتقدم قرنيه للأمام

(ب) الكثبان الطولية "العروق- السيوف - الغرود "

Longitudinal –Linear Dunes- Seif Dunes

تنشأ العروق أو الكثبان الطولية أو السيوف بصورة موازية لإتجاه الرياح السائدة ، وتبدأ هذه الكثبان دورة حياتها بكثبان هلالية فى بادئ الأمر ، ثم تتحول إلى سيوف ، حينما تتعرض إلى رياح جانبية تتقاطع مع الإتجاه العام للرياح الدائمة ، وعندئذ يستطيل أحد قرنى البرخان أكثر من الآخر ، وإذا ماتكرر هبوب الرياح الجانبية لفترات زمنية طويلة ، يستمر هذا الجانب فى النمو والإستطالة ، ويتحول إلى كثيب ممتد طولياً ، وهو يتألف فى حقيقة الأمر من مجموعة قمم

هلالية الأصل ، متفقة فى إتجاهها العام الموازى لإتجاه الرياح الدائمة (Bagnold, 1936) (شكلا ٥-٣ و٥-٥).

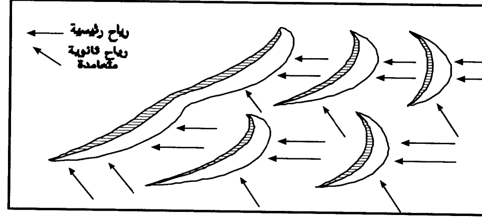
وتنتشر السيوف أو العروق فى معظم أنحاء الصحارى الحارة ، فهى تنتشر فى صحارى شبه جزيــرة العرب ، وخاصة فى الدهناء ، فهى تمتد على شكل حواف طولية مدببة القمم ، تضم فيما بينها بعض الكثبان الحلزونية المقوسة وتتحرك فى نفس الإتجاه العام من الشمال إلى الجنوب. كمـــا تنتشـــر فى الصـــحراء الأفريقية الكبرى على شكل نطاقات طولية متوازية تمتد أيضاً من الشـــمال للجنوب ، تتفاوت أطوالها بين بضعة كيلومترات ، ويصل طول بعضها فى صحارينا المصـــرية لـــنحو ٣٥٠كـــم ، وأشهرها غرد أبى المحاريق بالصحراء الغربية ، الذى يتحرك نحو الجـــنوب بمعـــدل عشرة أمتار سنوياً . ويتوقف شكل وحجم السيوف على عدد من العوامل أهمهـــا:

١- إختلاف طبيعة المواد التى تشكل منها .
٢- إتجاه الرياح السائدة .
٣- الفترة الزمنية التى تكون خلالها السيف .
٤- خصائص شكل سطح الأرض الذى تكون عليه السيف .

وتنقسم أشكال هذا النوع من الكثبان إلى نمطين متميزين هما :

"١" الكثبان الطولية البسيطة Simple Linear Dunes :

"٢" الكثبان الطولية المعقدة Complex Linear Dunes :



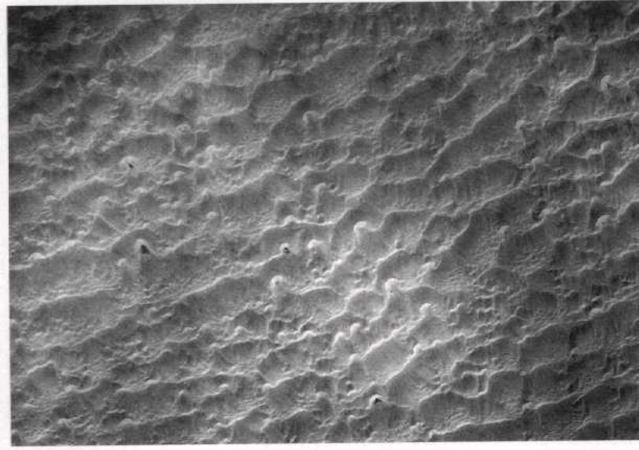
شكل (٥-٣) تحول الكثيب الهلالى إلى كثيب طولى بسبب هبوب رياح ثانوية متعامدة على إتجاه الكثيب الأصلى

(ج) الحواجز الرملية العرضية Sand Ridges-Transverse Dunes :

تمتد الحواجز الرملية فى وضع عمودى على إتجاه الريح ، وتتشكل حينما يحتوى الرمل المنقول على حبات خشنة وأخرى ناعمة ، حيث يؤدى تراكم الحبات الخشنة فوق قمم الحواجز إلى فشل الرياح فى نقلها مرة أخرى ، وتسهم بالتالى فى زيادة إرتفاعه ، وينحدر الكُثيب العرضي إنحداراً هيناً فى جانبه المواجة للرياح، وينحدر الجانب المظاهر لها إنحداراً شديداً قد يصل إلى حوالى الخمس وثلاثون درجة ، متفقاً فى هذا مع البرخانات (صورتا ٥-١٥ و٥-١٦وشكل ٥-٥) .



صورة (٥-١٥) مجموعة كثبان رملية مستعرضة بالقرب من قرية "الشويب" بدولة الإمارات
(تصوير المؤلف فى أبريل ٢٠٠٤)



صورة (٥-١٦) صورة جوية رأسية لكثبان رملية مستعرضة جنوب منطقة الظفرة فى القسم الغربى
من إمارة أبوظبى بدولة الإمارات العربية المتحدة

(د) أظهر الحيتان –الجسور الرملية Whalebacks – Sandlevees :

عبارة عن سلاسل أو جسور رملية هائلة الحجم ، تشبه السيوف في إمتدادها الموازي لإتجاه الرياح ، إلا أنها تختلف عنها في بعض خصائصها مثل :–

١- تبدو أظهر الحيتان مسطحة القمة بعكس السيوف الحادة المسننة .

٢- تتميز جوانب أظهر الحيتان ببطء الإنحدار ، بينما يشتد إنحدار أحد وجهيه.

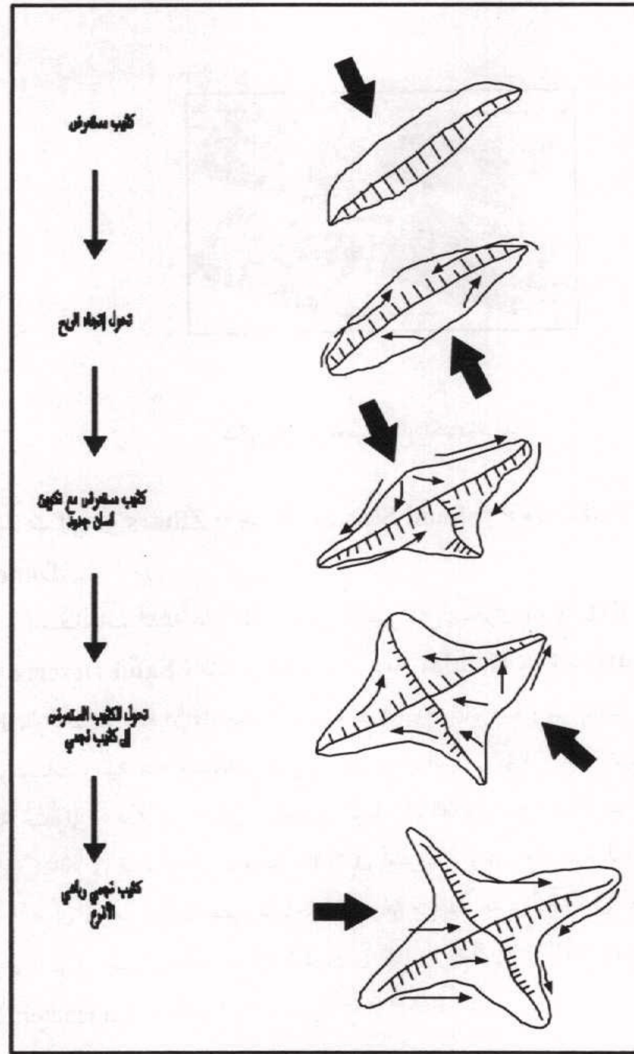
٣- ظهـــر الحوت أكبر حجماً من السيف ، إذ يصل طول ظهره لأكثر من ٢٠٠ كم ، وعرضة لايتعدى ٣كم وإرتفاعه حوالى ٥٠ متر .

٤- تعد أظهر الحيتان من الأشكال الرملية الميتة عديمة الحركة ، أي على النقيض من البرخانات ، والغرود المتحركة .

٥- تنـــشــأ أحياناً بعض الكثبان الطوليـــة المحـــدودة الحجم متراكمة فوق أظهر الحيتان .

(هـــ) الكثبان النجمية Star Dunes :

تتشكل الكثبان النجمية حينما تأتى الريح في مناوبات من عدة إتجاهات ، ويتناسب عدد أذرع النجوم الرملية ، وطول كل ذراع منها مع إتجاهات الرياح السائدة ، إذ تبدو اشكالها متوافقة إلى حد كبير مع وردات الرياح لإقليم تشكيلها وينتشر هذا النوع من الكثبان الرملية في التركستان ، وصحراء "ثار" شمال غرب الهند ، وبعض أجزاء الصحارى الاسترالية (شكلا٥-٤ و٥-٥).



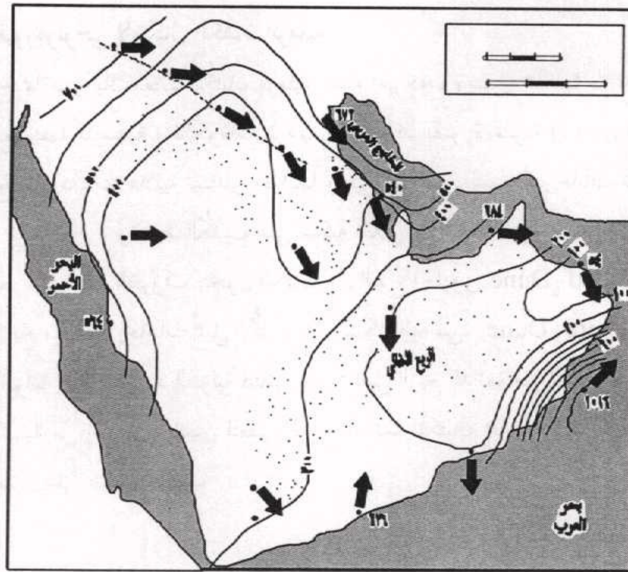
شكل (٥-٤) مراحل تحول كثيب مستعرض إلى كثيب نجمي



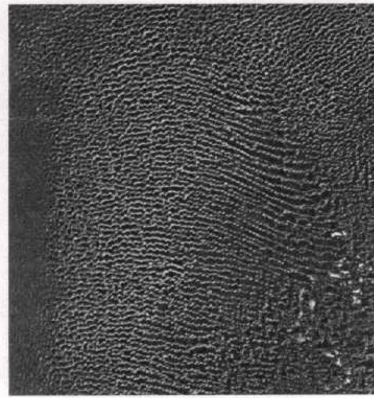
شكل (٥-٥) بعض أنواع الكثبان الرملية

(و) الغطاءات الرملية Zibars – بحار الرمال Sand Seas – حقول الكثبان : Dunefields

تتعدد المصطلحات الدالة على هذا المظهر الأرضى مثل صحرى العرق **Erg** ، الصحارى الرملـــية **Sand Deserts** ، القـــوز **Qoz** ، الـــرملة **Ramlat** ، وغرد **Ghard** ، وكوم **Kum** ، ومعظـــم هذه الأسماء مشتقة من اللغات العربية والفارسية والتركمانية . وهى عبارة عـــن فرشـــات رملية شبه مستوية ، تتموج سطوحها بتأثير حركة الرياح . تشغل الغطاءات الرملـــية حـــوالى ٨٥% من إجمالى الصحارى الرملية فى العالم ، تقع ٤٥% منها فى قارة آسيا وحـــوالى ٣٤% فى قارة أفريقيا ، ونحو ٢٠% فى أستراليا ، وتتوزع النسبة الباقية بين قارات العـــالم الأخرى ، وهى بذلك تغطى مساحات شاسعة من الصحارى الحارة فى العالم وأهمها فى صـــحراء الـــربع الخـــالى والصـــحراء الكبرى فى شمال أفريقيا (Cooke et al. 1993: & Lancaeter, 1995) (شكل ٥-٦ وصورة ٥-١٧)



شكل (٥-٦) إتجاه حركة الغطاءات الرملية بفعل الرياح فى شبه الجزيرة العربية



صورة (٥-١٧) مرئية فضائية للكثبان الرملية فى الربع الخالى
(ألوان الصورة غير حقيقية False Coulor Image)

التطور الجيورفولوجى لأشكال الكثبان الرملية

نخرج مما سبق بأن معظم الكُثبان الرملية دائمة الحركة ، ويتبدل شكلها من حين لآخر ، لتتكيف مع بيئتها الترسيبية ، فالكومات الرملية التي تتراكم بصورة عفوية في بادئ الأمر تتحول بالــتدريج إلى كثيبات هلالية تستدير جوانبها وتنثنى أطرافها ، لتبدو كبرخانات تتحرك بتؤدة وتــروى مع الرياح ، ويحافظ الكُثيب على شكله الهلالي مع ثبات ظروفه البيئية ، ولكن إذا ما طرأ أى تغير على تلك الظروف يتحول الكُثيب إلى النوع الحلزونى Sigmoided Dune، أما إذا أتت الريح من عدة إتجاهات يميل الكُثيب إلى الشكل النجمى Stare Dune . أما أنسب الظروف المواتية لنشأة الغرود الطولية فتتأتى عندما تقبل الريح الدائمة من إتجاه غالب ، تؤازرها ريــاح آتــية من إتجاهين جانبيين لتعطى الرياح الدائمة للكثبان محاورها الطولية ، بينما تعمل الرياح الجانبية على ضيق عروضها .

قائمة المراجع:

أولاً مراجع باللغة العربية :

١. جـــودة حســـنين جودة ، ١٩٦٥ : الاكتساح والنحت بواسطة الرياح ، مجلة كلية الآداب ، جامعة الإسكندرية ، المجلد ١٨ ، ص ص ١٥٧-١٧٨.

٢. ------------- ، ١٩٩٦: الجيومورفولوجـــيا ، دار المعـــرفة الجامعـــية ، الإسكندرية، ٦٨٣ ص.

٣. حسن سيد أحمد أبوالعينين ، ١٩٩٥: أصول الجيومورفولوجيا، الطبعة الحادية عشرة ، مؤسسة الثقافة الجامعية ، الإسكندرية، ٧٧٠ ص.

٤. عبدالله يوسف الغنيم ، ١٩٨١ : أشكال سطح الأرض المتأثرة بالرياح فى شبه الجزيرة العربية ، وحدة البحث والترجمة ، جامعة الكويت ، الكويت، ١٥٨ ص.

٥. صلاح الدين بحيرى ، ١٩٧٩(أ) : جغرافية الصحارى العربية ، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم ، معهد البحوث والدراسات العربية ، القاهرة.

٦. ---------- ، ١٩٧٩ (ب): أشـــكال ســـطح الأرض ، دار الفكـــر العربى ، دمشق.

٧. محمـــد صـــبرى محسوب ، ١٩٩٨: جيومورفولوجية الأشكال الأرضية ، دار الفكر العربى، القاهرة.

٨. --------------، ٢٠٠١: الأطلس الجيومورفولوجى ، معالجة تحليلية للشكل والعملية، دار الفكر العربى ، القاهرة.

٩. محمـــد مجـــدى تـــراب ، ١٩٩٦: أشـــكال الصحارى المصورة، منشأة المعارف ، الإسكندرية.

١٠.يحـــى عيســـى فرحان ، ١٩٨٣: مورفولوجية المنحدرات فى مناطق مختارة من وسط الأردن، منشورات جامعة اليرموك ، اليرموك .

ثانياً: مراجع بلغات أجنبية :

1- Abrahams, A.D. & Parsons, A.J. 1994, Geomorphology of desert environments. Chapman and Hall, London. GB611.A2 (2 copies in Nuffield collection).

2- Bagnold, R.A., 1936, The movement of desert sand, Royal.. Soc. London Ser. A 157, 594-620.

3- Brookfield, M.,1970, Dune trends and wind regime in central Australia, Zeitschrift fur Geomorphologie, Supplementband 10,121-53.

4- Carter, R.W.G. 1988, Coastal Environments Academic Press QH541.5.C65. (4 copies, 3 of which are in Nuffield collection). Most wide-ranging, authoritative text on coasts. Also includes a chapter on coastal dunes.

5- Chepil, W.S. & Wooldruff, N.P. 1954, Estimations of wind erodity of field surfaces. Jurnal of Soil and Water Conservatio 9,257-65.

6- Cooke, R.U.,Warren, A., and Goudie, A.S. 1993, Desert geomorphology. UCL Press, London. GB611.C6 (2 copies in Nuffield collection).

7- Gibbens, R.P., Tromble, J.T., Hennesey and Cardenas, M., 1983, Soil movement in mesquite dunelands and former grasslands of south New Mexico from 1933 to 1980, Journal of Range Management 36,145-8.

8- Gillette, D.A.1979, Environmental factors affecting dust emission by wind erosion, In Morales , C.(ed.)1979, Sahara dust. Chester, England: Jon Wiley.

9- Goudie, A.S.(Edit.), 2004, Encyclopedia of Geomorphology, International Association of Geomorphology, New York,1156p.

10-Greeley, R. & Iversen, J.D. 1989, Wind as a eological process on Earth, Mars, Venus and Titan. Cambridge: Cambridge University Press.

11-Hennessey, J.T., Kies,B., GtibbensR.P. and Tromble, J.M.,1986, Soil sorting by forty-five years of wind erosion on a southern New Mexico range, Journal of Soil Scince Society of America,v. 50,391-4.

12-Holm, D.A., 1960, Desert Geomorphology in the Arabian Peninsula, Science,v.132, No.3437,1369-79.

13-Lancaster, N. 1995, The geomorphology of desert dunes. Routeledge, London. QE597.L2 (1 copy in Nuffield collection).

14-Livingstone, I. & Warren, A. 1996, Aeolian Geomorphology Addison Wesley Longman, Harlow. GB 631.L4 (1 copy in Nuffield collection).

15-Viles, H. & Spencer, T., 1995, Coastal Problems. Geomorphology, Ecology and Society at the Coast. Edward Arnold. GB451.2 (3 copies in Nuffield collection). A more integrated geographical approach to coasts.

16-Wilson, I.G., 1971, Desert sandflow basins and a model for the development of ergs, Geographical Journal 137,180-99.

الفصل السادس
أشكال الكارست

أولًا: أصل الكارست.
ثانياً: العوامل المؤثرة فى تكوين الكارست.
ثالثاً: أنماط الكارست.
رابعاً: أهم الظاهرات الجيومورفولوجية الناتجة عن فعل الكارست:
خامساً: التصريف المائى فى مناطق الكارست.
سادساً: تصنيف أشكال الكارست.
سابعاً: التوزيع الجغرافى لأهم مناطق الكارست فى العالم.
ثامناً: الدورة الجيومورفولوجية الكارستية.

الفصل السادس
أشكال الكارست

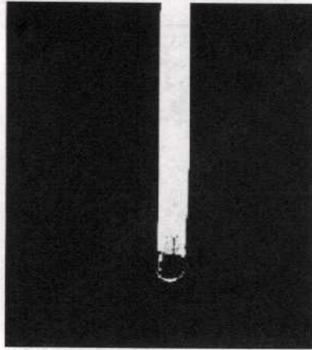
مقدمة :

تتأثر الصخور الكربونية بفعل الإذابة سواء بالمياه الجوفية أو مياه الأمطار (صورة ٦-١) ، وأشهر المناطق الجيرية فى العالم إقليم كارست Karst ، Krass ،Kras، Carso Kra فى يوغسلافيا السابقة، وبالتحديد فى القسم الغربى من دولة سلوفينيا المُطل على البحر الإدرياتى.

أولا: أصل مصطلح "كارست – Karst " :

نبذة تاريخية:

يُعد الجيولوجى اليوغوسلافى "فالفاسور Valvasorjevo " أول من أطلق تعبير Kras على الأراضى الجيرية المتأثرة بفعل الإذابة النشطة وقدم وصفاً وافياً عنها عام ١٦٨٩، وأطلق هذا التعبير نسبة لقرية تحمل هذا الإسم كانت تقع للشرق من ميناء "تريست Triest "-الإيطالى حالياً- ثم تبعه بعض المسافرين المتجهين من وسط أوربا نحو هذا الميناء المطل على البحر الإدرياتى ، وكانت هذه المنطقة عبارة عن صحارى جيرية حارة فى فصل الصيف ، عارية من الغطاء النباتى ، تحذذها مجموعات كبيرة من الحذوذ الغائرة التى عُرفت فيما بعد بمناطق التشرشر الجيرى، إذ لم تكن قد اكتشفت فى هذا الوقت مجموعات الكهوف التى يزخر بها هذه الإقليم .



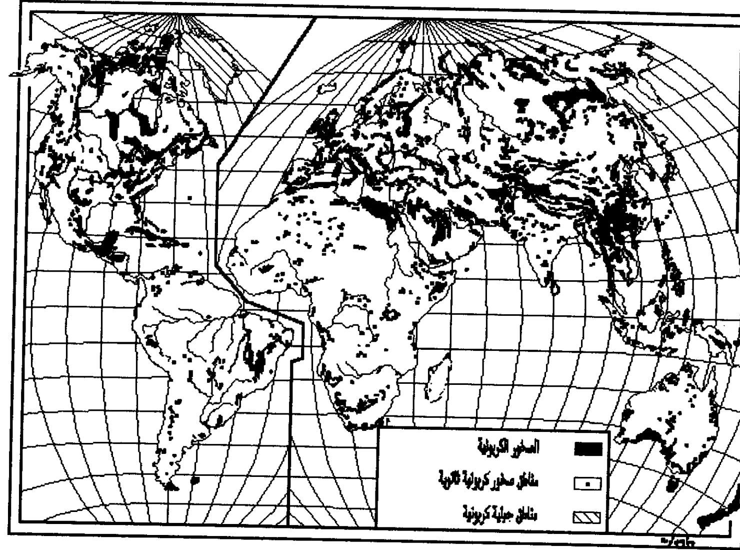
صورة (٦-١) قطرة من نواتج ذوبان الحجر الجيرى متدلية من عمود نازل بسقف كهف كارستى نشط

وخلال الفترة من آواخر القرن السادس عشر وحتى أوائل القرن العشرين ، أنتقل هذا المصطلح للغــة الألمانــية ، واستخدم فى التعبير عن ملامح المظهر الكارستى فى النمسا وألمانيا، ثم أنتشر مصطلح الكارست وأطلق على جميع المناطق المتأثرة بفعل الإذابة النشطة فى العالم .

ثانياً: العوامل المؤثرة فى تكوين المظهر الكارستى :

هناك مجموعة من الظروف البيئية يجب توافرها حتى يتكون المظهر الكارستى بأكمل صوره نوجزها فيما يلى :

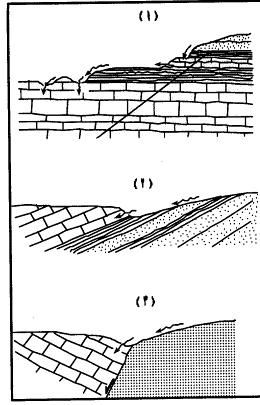
أولها **نوع الصخر** : فلابد وأن يتكون سطح المنطقة من صخر قابل للتحلل والذوبان، إذ يشتد تأثير الإذابة فى مجموعة الصخور الكربونية ، وخاصة الأحجار الجيرية والدولوميت والجبس والهاليت ، وتعتبر الأحجار الجيرية أكثرها تأثراً بعمليات الإذابة بسبب إرتفاع نسبة الكالسيت القابل للذوبان لأكثر من ٩٥% من تكويناته ، أما الطباشير فهو صخر قابل للذوبان ، ولكن ينقصه أحد العوامل الأساسية اللازمة لتكون أشكال الكارست وهو المسامية (شكل ٦-١).



شكل (٦-١) التوزيع الجغرافى للصخور الكربونية فى العالم

وثانيها **خصائص البنية الجيولوجية :**

ويعتبر أحد العوامل المهمة ويعنى مدى قابلية الصخر للتحلل أو الذوبان ، الذى يتأثر بنسبة المسام فى الصخر ، ودرجة نفاذيته ، وإتساع الفراغات بين حبيباته ، ودرجة وإتجاه ميل طبقاته الصخرية ، فينبغى أن تكون الطبقة الصخرية سميكة ومتماسكة وبها كثير من الشقوق والفواصل ، إلى جانب درجة تأثر الصخر بنظم الفواصل الصخرية التى تساعد على سرعة تغلغل المياه داخل الصخر . ويرى بعض دارسى علم الكهوف أن أهم خاصية تسهم فى تكوين المظهر الكارستى هى وجود الأحجار الجيرية المسامية ، وفى الحقيقة فإن مسامية الصخر بصورة كلية ليست من الصفات المساعدة على تكون المظهر الكارستى ، فإذا كان الصخر ذو مسامية عالية فى كل كتلته الصخرية ، فإن مياه الأمطار سوف تُمتص بكل أجزاء الصخر ويصبح مشبعاً بالمياه تماماً دون أن تتركز المياه على طول خطوط معينة ومسالك بينية فى الصخر تسلكها وتقوم بتذويبها (شكل ٦-٢).



شكل (٦-٢) بعض حالات تسرب المياه من خلال التكوينات الجيرية

١- تسرب المياه على أسطح الطبقات الأفقية نحو الحفر الغائرة
٢- تسرب المياه مع ميل الطبقات الصخرية على سطح الإنفصال الطبقى
٣- تسرب المياه عبر خطوط الانكسارات

وثالث العوامل المؤثرة فى تكوين المظهر الكارستى بصورته المثالية ، هو **الوضع الطبوغرافى** وتأثيره على سرعة جريان المياه وتقليل نسب التبخر ، فوجود نظم فيضية محفورة على مستوى أقل من منسوب الأراضى الجيرية المرتفعة القابلة للتحلل الكيميائى ، حتى يساعد هذا الوضع الطبوغرافى على تحريك المياه بفعل الجاذبية الأرضية ، وبذلك يعد النظام الفيضى كمصرف للتخلص من المياه المشبعة بالكربونات المذابة .

أما العامل الرابع فهو **الظروف المناخية** : وتشمل كميات الأمطار الساقطة والثلوج المنصهرة التى تسهم فى إذابة التكوينات الجيرية ، كما يساعد إرتفاع درجة الحرارة على تنشيط عملية الاذابة وسرعة تحلل الصخر ، إذ يجب أن تتمتع المناطق الجيرية بكمية معتدلة من المطر ، وأنه لمن الواضح أن كل المناطق الكارستية تقريباً توجد فى مناطق تتفاوت فيها كمية المطر من المعتدل إلى الغزير ، ومن المناطق التى يمكن استثناؤها من هذه القاعدة منطقة الكارست فى " يوكتان Yucaton " ، ولكن من المحتمل أن كمية المطر الساقطة على هذه المنطقة كانت أعظم بكثير أثناء الفترات المطيرة من عصر البلايستوسين بالمقارنة مما يسقط عليها فى الوقت الحاضر . ولا يتوقف الأمر على كمية الأمطار فقط ولكن لابد وأن نضع فى إعتبارنا خصائص المياه الجوفية: من حيث تركيبها الكيميائى ، وبصفة خاصة نسبة الحمضية PH. Ratio ، ومدى إقتراب وثبات مستوى المياه الجوفية.

وعموما فإن المناطق الجافة ذات التكوين الصخرى الجيرى لا تتمثل فيها الظاهرات الكارستية، ولكن يدل وجود الظاهرات الكارستية المتبقية فى تلك المناطق إلى أن الظروف المناخية بها كانت أكثر مطراً مما هى عليه الآن ، وبخاصة أثناء الفترات المطيرة التى حدثت فى عصر البلايستوسين ، ومثل هذه الظاهرات الكارستية منتشرة فى معظم المناطق الجيرية من الوطن العربى فى حوض البحر المتوسط ، وخاصة فى شمال أفريقيا وغرب آسيا، إلى جانب أجزاء مبعثرة فى شبه الجزيرة العربية ، خاصة فى سلطنة عُمان والمملكة العربية السعودية .

وأخـــيرا **الغطاء النباتى ونوع التربة** : يختلف تأثير نوع وكثافة الغطاء النباتى ، على معدلات تأثر الأحجار الجيرية بفعل الإذابة الكارستية ، من منطقة لأخرى فقد تسهم جذور الأشجار فى تجويـــة الصخور ميكانيكياً ، وتوسيع الشقوق والفواصل ، مما يساعد على تنشيط فعل الإذابة بمـــياه المطر ، وقد يكون تأثيرالغطاء النباتى سلبياً ، أى يقلل من نشاط عمليات الإذابة ، خاصة فى المناطق التى يسود بها أنواع من الأشجار تحتاج فى نموها لكميات كبيرة من المياه ، فتقلل من نشـــاط الإذابـــة بسبب إستنزاف جزء من المياه المتساقطة على سطح الأرض فى تغذية الغطاء النباتى. كما يؤثر نوع وسمك التربة فى تكوين المظهر الكارستى ، فالتربات المسامية ذات القوام الخشـــن تعجل من تسرب المياه لصخر الأساس الجيرى ، أما التربات الدقيقة الحبيبات التى تكاد تنعدم فيها الفراغات البينية ، فهى تساعد بالتالى على تبخر المياه وعدم وصولها للأحجار الجيرية فتقلل من ذوبالها فى المياه .

ثالثاً : أنماط الكارست Types of Karst:

وفقاً لمدى توفر الظروف البيئية الملائمة لتشكيل المظهر الكارستى ، فإنه يمكن تصنيف أقاليم الكارست الجيرية فى العالم للأنماط الآتية :

(أ) مـــناطق الكارســـت الرطبة (الكارست الحقيقى) **True Karst** وهـــى تنتشر فى الأقاليم المعتدلة التى يتكون من الأحجار الجيرية فى الوقت الحاضر ، وهى التى يتمثل بها المظهر الكارستى النشط فى أوج صوره.

(ب) مناطق الكارست الفيضى **Fluvio-karst**

(ج) مناطق الكارست فى الأقاليم المدارية **Tropical Karst**

(د) مناطق الكارست الجليدية **Glacio- Karst**

(هـــ) مناطق الكارست الحفرى بالنطاقات الجافة الحالية **Arid-Karst**

رابعاً : أهم الظاهرات الجيومورفولوجية الناتجة عن فعل الكارست :

يمكـــن تصنيف أهم الظاهرات حسب نطاق تواجدها إلى نوعين هما : أشكال الكارست السطحية Surficial Karst ، وأشكال الكارست الجوفية Underground Karst:

(أ) أشكال الكارست السطحية Surficial Karst:

يُطلق هذا المصطلح على الأشكال الأرضية الكارستية التى تتكون بفعل الإذابة السطحية ، وأهمها الظاهرات الآتية :

١- التربة الحمراء Terra Rossa :

عادة ما تترك عملية التحلل السطحية أو القريبة من السطح نتيجة تسرب المياه فى الصخر المكون لسطح الأرض آثارها ممثلة في تربة حمراء طينية تغطى سطح الأرض وضاربة بصورة رأسية على طول الفوالق الصخرية، وقد لا تتكون هذه التربة على المنحدرات المعتدلة والضعيفة، وتتباين فى سمكها بين بضعة أمتار وعشرات الأمتار ، كما قد تغطى سطح الصخر تغطية كاملة، وتشبه هذه التربة الحمراء Terra Rossa فى مظهرها تربة اللاتربت فى المناطق الأستوائية أو العروض المدارية المطيرة.

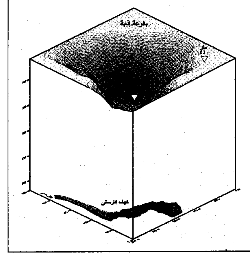
٢- الحفر الغائرة وبالوعات الإذابة Sink Holes & Dolines :

بالوعات الإذابة عبارة عن منخفضات أرضية قمعية المقطع دائرية أو طولية الشكل ، تتكون بتأثير فعل الإذابة السطحية للمياه فى الأحجار الجيرية ، وهى من أوسع الظاهرات الكارستية إنتشاراً ، إذ توجد هذه الظاهرة بالمئات بل بالآلاف فى أقاليم الكارست كبرى .

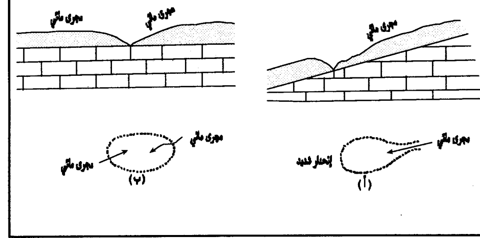
وتعتبر البالوعة من الناحية الطبوغرافية منخفضاً أرضياً يتباين عمق معظمها من ١٠-٣٠ متر ، وقد تصل لأكثر من مائتى متر مثل حفرة إذابة "طوى أعتير" فى محافظة ظفار بسلطنة عُمان ، أما من حيث المساحة فتتراوح هذه البالوعات من بضعة عشرات من الأمتار المربعة إلى حوالى الكيلومتر المربع وربما أكبر من ذلك ، وشكل البالوعة العام هو الشكل القمعى

(المخروطى) رأسه إلى أسفل وقاعدته المتسعة إلى أعلى ، ولكن هناك أشكالا متباينة للبالوعة غير شكلها المألوف ، مثل الشكل البيضاوى ، أو شبه النجمى وغيرهما (شكل ٦-٣).

تعتـــبر الحفـــر الغائرة أو بالوعات الإذابـــة من أكثر الظاهرات الكارستية إنتشـــاراً فى العـــالم، وهى تنشأ نتيجة تسرب المياه من خلال الفواصل وإذابتها لمكونات الصخر، ويتوقف شكل الحفرة الغائـــرة على الخصائص البنيوية للصخر ومدى وفرة المياه (شكل ٦-٤).



شكل (٦-٣) مجسم لبالوعة Dol Risnik فى سلوفنيا



شكل (٦-٤) مقطعان عرضيان فى بالوعتى إذابة يوضحا:
البالوعة (أ) غير متماثلة الإنحدار نتيجة إنسياب المياه من مجرى مائى واحد.
البالوعة (ب) متماثلة الإنحدار نتيجة إنسياب المياه من مجريين متقابلين .

وتُعـد حفرة إذابة "طوى أعتير" فى ولاية مرباط التابعة لمحافظة ظفار بسلطنة عُمان واحدة مـن أكبر حفر الإذابة فى العالم، إذ يبلغ حجمها حوال ٩٧٥ر٠٠٠متر مكعب، ويتراوح طول قطـرها فيما بين ١٣٠- ١٥٠م، أما عمقها فيصل الى ٢١١م ، وبإمكان هذه الحفرة استيعاب مبنى يتألف من ٧٠طابق ، كما يُعتقد أن حفرة إذابة "طيق" بسلطنة عُمان واحدة من أكبر حفر الاذابـة عـلى سطح الأرض ، إذ يبلغ حجمها ٣٠٠ مليون متر مكعب (١ر٢٥ × ١ كم × ٢٥٠م) ويصـب فى الكهـف المحفـور فى قاعهـا أثنين من المجارى العمياء (Hanna et al.,1996)(صورة ٦-٢).



صورة (٦-٢) الجانب الشمالى من حفرة إذابة "طوى أعتير" بولاية مرباط فى محافظة ظفار بسلطنة عُمان (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)

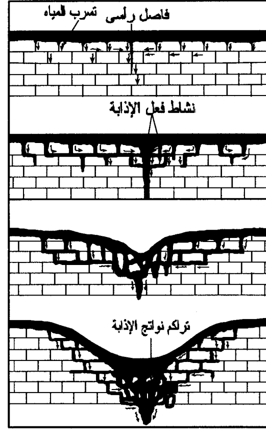
ويمكن تصنيف حفر الإذابة للأنماط الآتية وفقاً لأسلوب تشكيلها :

(أ) بالوعات الإذابة

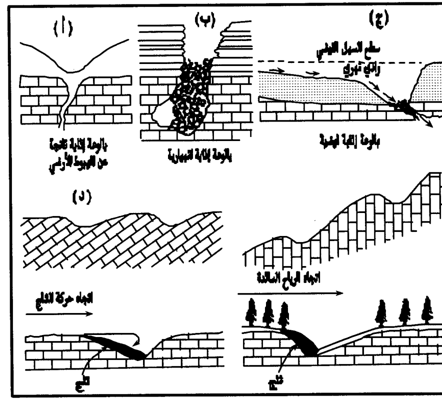
Solution Dolines or Solution Sink Holes :

يتكون هذا النمط من البالوعات نتيجة نشاط فعل الاذابة على سطح الأرض ، وتكوين بعض الحفر الدائرية أو المنخفضات القمعية المظهر ، ومع نشاط عملية الذوبان تتسع هذه الحفر ببطء ، وقد تتلاحم مع بعضها مكونة منخفضات أكثر اتساعاً ويطلق عليها فى هذه الحالة اسم بالوعة إذابة مركبة Compound Sink Hole.

وتتكون بالوعات الإذابة نتيجة التحلل الرأسى البطىء تحت غطاء من التربة دون حدوث أى تأثير للتجوية الميكانيكية للصخر الذى تكونت فيه تلك البالوعات التى يطلق عليها اسم "بالوعات الإذابة Solution Sinks " (شكلا ٦-٥ ، ٦-٦ ، وصورتا ٦- ٣ ، ٦-٤).



شكل (٦-٥) مراحل تكوين بالوعة الإذابة



شكل (٦-٦) بعض أنواع بالوعات الإذابة

(أ) بالوعة إذابة ناتجة عن هبوط أرضى
(ب) بالوعة إذابة إنهيارية
(ج) بالوعة إذابة فيضية
(د) بعض مسببات عدم تماثل انحدارات جوانب بالوعة الإذابة



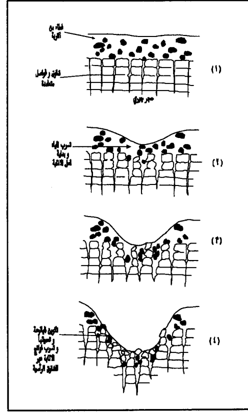
صورة (٦-٣) بالوعة إذابة فى منطقة **Rakov Skocjan** فى سلوفنيا
(تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٣)



صورة (٦-٤) مدخل كهف طيق فى سلطنة عُمان الذى أستهل نشأته كبالوعة إذابة قبل تطوره إلى كهف كارستى يغوص فيه أثنين من الأودية العمياء اللذين يظهرا فى الصورة (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)

(ب) بالوعات الإذابة الفيضية Alluvial Dolines :

ينشـــأ هـــذا النمط من البالوعات نتيجة تســـرب المياه من خلال التربة الفيضية التى تغطـــى الأحجار الجيرية ، مما يساعد على إذابـــة مكونـــات الصخر ، وهبوط سطح الأرض عـــلى شكل حفرة دائرية الشكل مغطاه بالرواسب الفيضية (شكل ٦-٧).



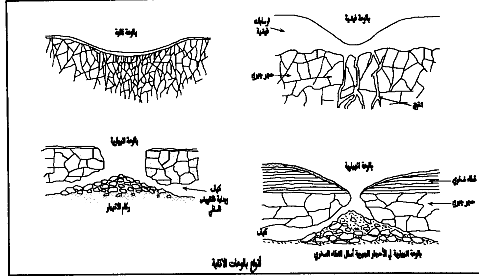
شكل (٦-٧) مراحل تكوين بالوعة الإذابة الفيضية

(ج) الحفر الطولية Polje

ينتشر هذا النوع من بالوعات الإذابة فى إقليم كارست فى غرب سلوفينيا وبلغاريا واليونان، وهـــو عـــبارة عن حفر طولية الشكل ذات جوانب شديدة الانحدار . ويعرف هذا النمط من الـــبالوعات باســـم Polje -Bolje، وأطلق هذا الاسم على منخفضات ذات أشكال مختلفة وأصـــول متباينة، ولكن البالوعة البوسنية (إحدى جمهوريات يوغسلافيا السابقة) الحقيقية هى عـــبارة عن حوض مستطيل يتميز بقاع مسوى وجوانب شديدة الانحدار تدين فى وجودها إلى تعديلات عملية الإذابة لمناطق إنكسارية أو إلتوائية هابطة من الكتل الجيرية، وقد تشبه كل من (البولجـــيه Polje والأوفـــالا Uvala) ولكـــنها تختلف فى أصل نشأتها من ناحية وفى درجة إمتدادها من ناحية أخرى .

(د) وعاء الإذابة Solution Pan:

وهناك نمط من بالوعات الإذابة يسمى وعاء الإذابة Solution Pan ، منخفض دائرى الشكل كبير المساحة ذو جوانب هينة الانحدار يتكون نتيجة فعل الإذابة السطحية، وتتجمع على قاعه الرواسب العضوية والطين والأملاح ، وهو عادة يشغل مساحة أكبر بكثير من تلك التى تشغلها الدولين، فتبلغ مساحة البالوعة المعروفة باسم وعاء الإذابة أكثر من ٣٠فدانا ، وقد تسد فتحات بعض بالوعات الإذابة نتيجة تجمع بعض المواد الطينية وترسيبها عند قاعها بدرجة تحجز المياه فوق منسوب الماء الباطنى ، ويطلق على المياه المتجمعة نتيجة إنسداد فتحات البالوعات اسم " برك البالوعة Sinkhole Ponds " أو"البحيرات الكارستية Karst Lakes" إذا كان حجمها من الكبر بحيث يمكن معه استخدام لفظ بحيرة ، وخير مثل على هذه البرك أوالبحيرات الكارستية والتى يتفق سطحها مع المنسوب العلوى لمستوى الماء الباطنى، مجموعة البحيرات والبرك المنتشرة فى السهل الأوسط فى سلوفنيا ، ومنطقة فلوريدا الكارستية بالولايات المتحدة الأمريكية (شكل ٦-٨) .



شكل (٦-٨) أنواع بالوعات الإذابة

(هـ) بالوعة الإذابة المركبة Compound Sinkholes:

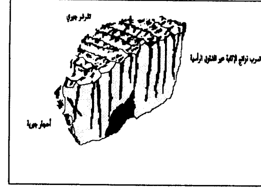


صورة (٦-٥) فوهتى بالوعة إذابة مركبة فى منطقة Rakov Skocjan فى سلوفينيا (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٣)

يـُطلق هذا المصطلح على البالوعات الكبيرة المساحة ، وهى فى الواقع تتكون من مجموعـة مـن البالوعات الأصغر حجماً، وحيثما تزدحم البالوعات ويكثر عددها إلى عـدة مئات فى الميل المربع، ونتيجة لإتساع مساحة البالوعة بنموها على حساب الأرض الـتى تفصلها عن البالوعة المجاورة، عادة ما تلـتحم هـذه البالوعات لتكون ما يطلق عليه البالوعـات المركبـة Compound Sinkholes (صورة ٦-٥).

ومـثل هـذه البالوعات المركبة عادة ما تحتوى على منخفض رئيسى كبير ناتج عن عملية الإذابة يشغل عدة أفدنة ويحتوى هذا المنخفض على العديد من بالوعات الإذابة الأصغر حجما.

٣- الأسطح الجيرية المضرسة (التشرشر الجيرى)
Bogaz -Karren or Lapies



شكل (٦-٩) ملامح التشرشر الجيرى

تظهر الأسطح الجيرية مُقطعة ومرصعة بالثقوب والخطوط والحزوز الغائرة ، نتيجة عدم إنتظام فعل الإذابة على سطح الأرض، وتعرف هذه الظاهرة باسماء محلية مختلفة منها : البوجاز Bogaz فى سيبيريا وسلوفنيا وكرواتيا وصربيا ، والليبيه Lapies فى فرنسا ، والكارن Karren فى المانيا .

وعادة مايكون سطح الأرض فى مناطق الحجر الجيرى المطيرة شديد التضرس، ولذلك فإنه يكون عاريا من التربة الحمراء ، ويبدو ممزقا بواسطة أودية صغيرة عميقة تفصلها حواف حادة بارزة ، وتعرف هذه الأودية باسم التحززات الأرضية Lapies ، ويتوقف تكوين الأسطح الجيرية المضرسة على عدد من العوامل أهمها ما يلى :

١-التكوين الصخرى Lithification ، من حيث النسيج الصخرى وحجم الفراغات البينية ودرجة صلابته ومدى تأثره بالإذابة بالمياه .

٢- البنية الجيولوجية Geological Structure : بصفة خاصة ميل الطبقات ، ونظم الشقوق والفواصل : ومن الملاحظ أن التشرشر الجيرى نادر التكوين فوق الطبقات الصخرية الأفقية حيث تحل محلها ظاهرة البالوعات الأرضية Sinkholes .

٣- درجة إنحدار سطح الأرض Surface slope : إذ تتدرج التحززات الجيرية من حفر ضحلة Shallow Pits على المنحدرات البطيئة إلى تجاويف Grooves على المنحدرات المتوسطة، وأخيرا إلى تحززات خطية Furrowsعلى المنحدرات الشديدة وهذه الأخيرة أطلقا عليها اسم Lapies.

٤- نوع وكثافة التربة والغطاء النباتى الطبيعى فوق التكوينات الصخرية: تتكون هذه الحزوز عادة فى المناطق الجيرية التى تغطيها طبقة من التربة، وينمو عليها غطاء من النباتات الطبيعية .

تصنيف أشكال التشرشر الجيرى :

تصنف أشكال التشرشر الجيرى إلى عدة أنماط وفقاً إختلاف أسلوب النشأة ، أو على أساس تباين مظهرها المورفولوجى ، وأهمها الأنماط الآتية (Hanna & Al-Belushi, 1996) :

١. حفر صغيرة Small pits طولية الشكل ، أو حذوذ دقيقة لايتعدى عمقها بضعة ملليمترات.

٢. قنوات دائرية القاع Round-bottomed channels ، وهى تبدو مشابهة للجداول المائية الدقيقة الحجم Microrills إلا أن قاعها يتميز بمظهره الدائرى بتأثير بفعل الإذابة ، وهى عادة ما تحزز الحافات الصخرية شبه الرأسية .

٣. الثلوم الخطية Linear fissures يتشكل هذا النمط من التشرشر الجيرى متفقا مع إمتداد الشقوق والفواصل الصخرية .

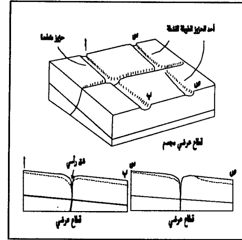
٤. التشرشر الجدولى Rillenkarren وهو أكثر الأشكال شيوعا ، وهو يتكون بتأثير جريان مياه الأمطار على المنحدرات المكونة من الأحجار الجيرية والدولوميت والطباشير .

٥. الحوائط المشرشرة Wallkarren وهو يتكون بتأثير الإذابة على الحوائط الجانبية للكتل والحافات الصخرية .

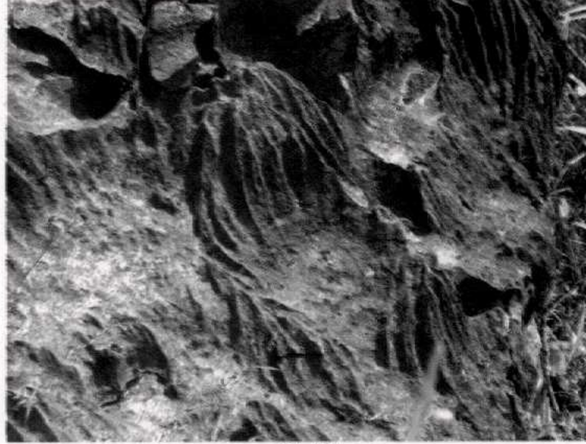
٦. التشرشر الدائرى Roundkarren وهو عبارة عن مجارى أو قنوات مائية متسعة وعميقة يتراوح درجة انحدارها الطولى بين ٣٥ – ٤٠ درجة.

٧. التشرشر العملاق Giant karren- Mega karren يطلق هذا المصطلح على الحذوذ التى يتجاوز اتساعها أكثر من عشرة سنتيمترات.

وتعتبر ظاهرة التحززات الأرضية الكارستية من أفضل الظاهرات الجيومورفولوجية الكارستية فى إظهار الاختلافات الدقيقة فى درجة ذوبان الصخر ومساميته ومفاصله وطباقيته ، وبعض الخصائص الطبيعية والكيميائية الأخرى التى تؤثر على معدل وإتجاه عملية التحلل الكيميائى عن طريق تسرب مياه الأمطار فيه.



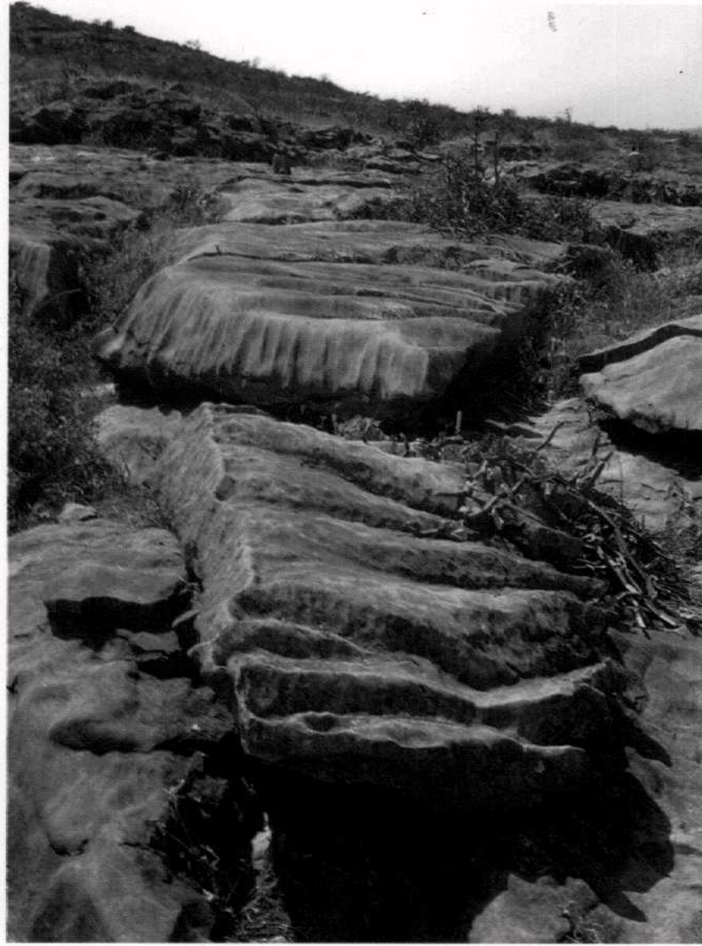
شكل (٦-١٠) مقاطع عرضية فى الأسطح الجيرية المضرسة



صورة (٦-٦) حوائط مشرشرة Wallkarren قرب كهف طيق بولاية مرباط فى محافظة ظفار، سلطنة عُمان (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)



صورة (٦-٧) تشرشر جدولى Rillenkarren بالقرب من كهف طيق بولاية مرباط فى محافظة ظفار ، سلطنة عُمان (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)



صورة (٦-٨) كتل صخرية مُفككة بالتجوية الميكانيكية على طول نظم الفواصل المتعامدة ، ثم ساعدت عملية الإذابة بالرطوبة الجوية على تكوين مظاهر التشرشر الجيرى على أسطح الكتل وحوافها على السواء ، الجبل الأخضر فى سلطنة عُمان (تصوير المؤلف فى مارس ٢٠٠٤)



صورة (٦-٩) تشرشر دائرى Roundkarren يشبه قناة مائية مسوّاة القاع فى حوض وادى دربات بمنطقة "صلالة" فى سلطنة عُمان (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)

٤- مدرجات الترافرتين Travertine Terraces

تعتبر مدرجات الترافرتين من الأشكال الجيومورفولوجية الفريدة ، إلا أنها محدودة الإنتشار، وهى عبارة عن مدرجات متتابعة على شكل سلمى ترتبط بالينابيع الحارة غالباً ، حيث تظهر المدرجات العليا حول فوهة الينبوع ، يحيط بها عدد من المدرجات الأقل منسوباً ، وتتكون هذه المدرجات من تجمع الترسبات الكلسية(الترافرتين) المتدفقة من الينابيع بعد تصلبها نتيجة تبخر مياهها ، وتبدو أسطح هذه المدرجات حوضية الشكل ، مما يساعد على تجمع الماء بكل حوض منها ، ثم تنساب المياه الزائدة نحو المدرج التالى لأسفل حاملة معها بعض محاليل الترافرتين الذائبة مكونة ستائر من الكالسيت المتصلب على هوامش المدرج .

وتتكون هذه الظاهرة قرب مدينة "دنزلى" فى جنوب غرب تركيا، وتستغل كمعلم سياحى فريد ، وقد تتكون هذه المدرجات داخل كهوف الكارست (من أوضحها كهف Skocjanske فى سلوفنيا) أو على ضفاف بعض الأنهار فى المناطق الطباشيرية نتيجة تدفق المياه الحارة من الينابيع .



صورة (٦-١٠) مدرجات ترافرتين تكونت على أرضية كهف Skocjanske فى سلوفنيا
(تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٣)

٥- الكبارى الطبيعية Natural Bridges :

تبدو الكبارى الطبيعية على شكل جسور من الأحجار الجيرية تقاوم عمليات الإذابة النشطة أسفلها ، ويرتبط تكوين الكبارى الطبيعية بالحالات الآتية :

(أ) الأنهار المفقودة .

(ب) الأسر النهرى تحت السطحى .

(ج) إنهيار أجزاء متعددة من أسقف الكهوف الكارستية .

(د) إلتحام أحواض أو حفر الإذابة تحت سطح الأرض .



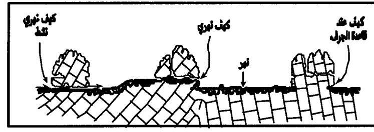
صورة (٦-١١) كوبرى طبيعى فى منطقة الروشة – بيروت بلبنان (تصوير المؤلف فى يوليو ٢٠٠٢)

٦- تلال وأبراج الكارست Karst Hills & Towers

تعتبر تلال وأبراج الكارست من الأشكال الأرضية المتبقية عن نشاط فعل الإذابة، وتبرز هذه التلال فى المواضع التى تتميز بصلابتها النسبية ، وتأثر الأجزاء المتاخمة لها بالتحلل الصخرى ، ويطلق على هذه التلال العديد من الأسماء المحلية مثل تلال الموجوتس Mogotes فى جزيرة كوبا ، وتلال الهمز Hums فى إقليم الكارست ، وحينما تنتشر مجموعات التلال الجيرية المتبقية يطلق عليها تعبير الغابات الحجرية Stone Forests .



صورة (٦-١٢) تلال كارستية متبقية عن فعل الإذابة فى منطقة مشتى الحلو بسوريا (تصوير المؤلف فى يوليو ٢٠٠٢)



شكل (٦-١١) مقطع فى أبراج الكارست فى منطقة وادى كنتا – غرب ماليزيا

٧- أودية الكارست Karst Vallies

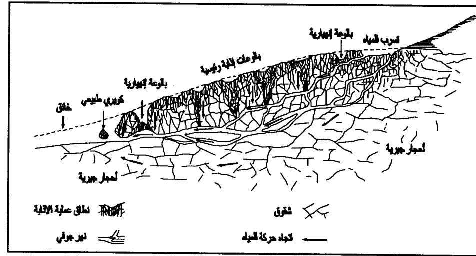
يعتبر وجود الأودية من أهم مميزات الأقاليم الجيرية الرطبة ، وتتكون هذه الأودية نتيجة تدفق وجريان المياه السطحية مكونة العديد من الأشكال الجيومورفولوجية أهمها ما يلى :

(أ) المجارى أو الأنهار المفقودة Lost Rivers

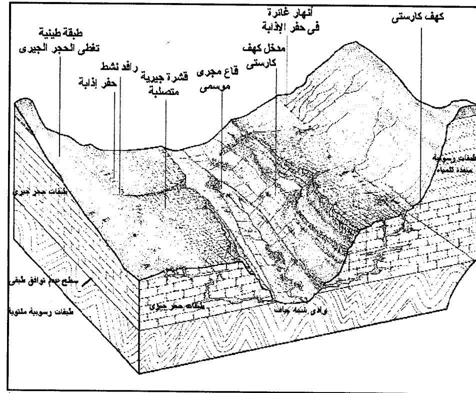
ينشأ هذا النمط من الأنهار حينما تغور مياه النهر داخل إحدى بالوعات الإذابة أو الكهوف، إلا أنه قد يظهر مرة أخرى على السطح حينما يتفق منسوب المجرى الجوفى مع مستوى سطح الأرض.

(ب) الأودية العمياء Blind Valleys

يقصد بها المجارى السطحية التى تجف مياهها نتيجة تسربها فى باطن الأرض وتحولها بذلك إلى مجار جوفية ، وقد تظهر هذه المجارى من جديد مع زيادة كميات المطر بدرجة تفوق معدلات تسرب المياه فى باطن الأرض .



شكل (٦-١٢) بعض الأشكال الجيومورفولوجية المرتبطة بالأنهار المفقودة



شكل (٦-١٣) أشكال الكارست فى منطقة Dalse – Yorkshire فى بريطانيا

٨- أشكال الكارست العليا Epikarst :

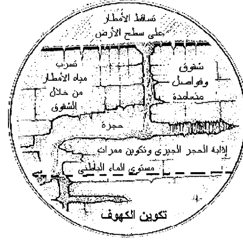
يطلق هذا التعبير على الجزء العلوى من الأحجار الجيرية المتأثرة بفعل الإذابة ، ويقع هذا النطاق أسفل التربة المفككة مباشرة ، حيث يشتد تأثير عمليات الإذابة بمياه الأمطار المتسربة عبر نظم الفواصل المنتشرة على الأسطح الجيرية المشرشرة Karren ، وكذلك من خلال خطوط الانكسار والعيوب الصخرية ، وأسطح الإنفصال الطبقى مما يسهم فى توسيع هذه النطاقات وتسوية طبوغرافيتها (William in Goudie, 2004).

(ب) أشكال الكارست الجوفية Underground Karst :

١- كهوف الكارست Karst Caves

تعــد الكهــوف مــن الأشكال الأرضية الفريدة التى تميز مناطق الكارست ، وهى أهم الظاهــرات الجوفية التى تتشكل فى مناطق الكارست ، وهى عبارة عن ممرات أو أنفاق ودهاليز طبيعــية تمتد تحت سطح الأرض لمسافات كبيرة جداً تصل لأكثر من ٥٦٣ كيلومتر فى أطولها وهو كهف ماموث Mammoth بولاية كنتاكى الأمريكية ، وهى ذات إمتداد أفقى ورأسى يــتفق إلى حد كبير مع نظم الفواصل الصخرية ، وقد تمتد هذه الكهوف لأعماق كبيرة تصل لحــوالى ١٥٠٠ مــتر فى أعمــق الكهــوف فى العــالم وهو كهف Huautle فى المكسيك (شكل ٦-١٤) .

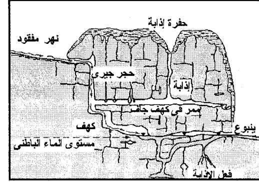
وقد تتألف الكهوف من حجرة واحدة أوعدد محدود من الحجرات ، تتكون هذه الحجرات عادة عند مواضع إلتقاء نظم الفواصل الرأسية والأفقية ، وقد تتعدد طوابق الكهف نتيجة توالى إنخفــاض مســتوى الماء الجوفى ، وكثيراً ما تجرى الأنهار الجوفية على قيعانها مكونة العديد من الأشــكال الجيومورفولوجــية الفــريدة مثل الشلالات الجوفية ، والمنعطفات النهرية الجوفية ، والأشكال المرتبطة بقاع هذه الأنهار التى تستهوى مرتادى هذه الكهوف لممارسة رياضة الغوص فى مياهها .



شكل (٦-١٤) أجزاء كهف كارستى

وتتمثل بالكهوف الكارستية العديد من الظاهرات الجيومورفولوجية مثل الأعمدة الجيرية الهابطة Stalactite التى تبدو متدلية من أسقف الكهوف نتيجة تسرب المياه المشبعة بالكالسيت وتصلبها بعد تبخر المياه ، والأعمدة الجيرية الصاعدة Stalagmite التى تظهر بارزة على أرضية الكهوف نتيجة تساقط قطرات المياه المشبعة بالكالسيت وتصلبها.

وقد يحدث إلتقاء بين عمود هابط وآخر صاعد على إمتداده مما يكون عمود جيرى متصل من سقف الكهف حتى أرضيته ، وقد تظهر الترسبات الكلسية بأشكال فريدة منها الستائر المتدلية من سقف الكهف والأعمدة الإبرية الشكل والأسطح الملساء وغيرها (شكل ٦-١٥) .



شكل (٦-١٥)بعض أشكال الكارست الجوفية

بعض الأشكال الجيومورفولوجية التى تتكون داخل الكهوف :

(أ) أشكال ناتجة عن فعل النحت:

١- أشكال ناتجة عن النحت بفعل المياه الجارية:

- مجـــارى عمياء Blind Streams : وهى عبارة عن مجارى مائية سطحية تغوص داخل إحدى بالوعات الإذابة أو كهوف الكارست.

- شـــلالات جوفـــية Underground Waterfalls : عـــبارة عن نقط تغير فى الانحـــدار الطولى للمجارى المائية الجوفية ، ليثولوجية النشأة فى أغلب الأحوال، وقـــد تـــتكون أسفل كل منها بركة غطس أو كهف نتيجة إصطدام المياه بقاع المجـــرى الجـــوفى وهى بذلك تشبه الشلالات السطحية فى مظهرها المورفولوجى العام.

- خوانق جوفية Underground Canyons: مقاطع ضيقة من ممرات الكهوف تتميز بأعماقها السحيقة ، وهى تتشكل عادة بفعل اندفاع المياه فى المجارى الجوفية الشديدة الانحدار ، التى ترتبط فى بعض الأحيان بالطبقات الجيرية الشديدة الميل.
- الحفـــر الوعائـــية الجوفية Underground Potholes: حفر اسطوانية الشكل تتكون بتأثير الفعل الهيدروليكى لإندفاع المياه المحملة بالحصى فى المجارى الجوفية ، وهى تشبه فى تكوينها ومظهرها الحفر الوعائية النهرية .

- مســـيلات تخدد حوائط الكهوف Underground Wall Gullies: أخاديد وثلـــوم طولية شديدة الانحدار تخذذ جوانب الكهف ، نتيجة الفعل الهيدروليكى وتأثير إذابة المياه المتسربة من المستويات التى تعلو ممرات الكهف.

- مجارى جوفية متعرجة Underground Meandering Stream: أجزاء منثنية من المجارى الجوفية تتكون بتأثر تغير إتجاهات ممرات الكهوف الناجمة عن تقاطع نظم المفاصل الصخرية، وتندفع المياه على الجانب المقعر للثنية ، بحيث تترسب حبيبات الترافرتين والطين على جوانبها المحدبة .

- كبارى طبيعية داخل الكهوف Underground Natural Bridges : من الأشكال المألوفة داخل كهوف الكارست تكوين كبارى طبيعية تتشكل من عقد صخرية أكثر مقاومة لفعل الإذابة .

٢- أشكال ناتجة عن النحت بفعل الإذابة:

- حفر إذابة تتكون على أرضية الكهوف Caves Floor Sinkholes .
- حفرة إذابة تتكون على حوائط الكهوف Wal Solution Pits .
- أسقف الكهوف الانهيارية Collapes Caves.
- حجرات كهفية Cave Chamber : أجزاء متسعة من الكهف الكارستى ، وتتكون غالباً عند تقاطع نظم الفواصل الصخرية ، حيثما تنشط الإذابة فيعمل على توسيعها ، وتتدلى من أسقفها النوازل ، وتنمو على أرضيتها الصواعد .

- ممرات (أنفاق) جوفية Underground (Tunnels) Passages: ترتبط ممرات الكهوف بإمتداد الشقوق والفواصل الصخرية ، التى تسمح بتسرب المياه من خلالها ، فتتسع تدريجيا نتيجة فعل الإذابة ، ويمكن تصنيفها للأنواع التالية وفقا لتوجيهها وأشكال مقاطعها :
  - أفقية التوجيه Horizontal direction.
  - رأسية التوجيه Vertical direction.
  - مائلة التوجيهDipped Passages.
  - دائرية المقطع .

- o رباعية الأضلاع .
- o بيضاوية المقطع .

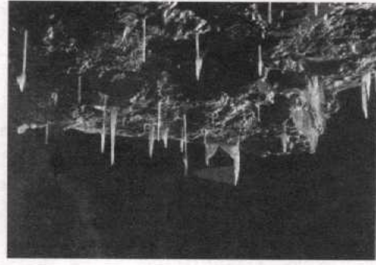
(ب) أشكال ناتجة عن الارساب:

١-الأعمدة الصاعدة Stalagmites:

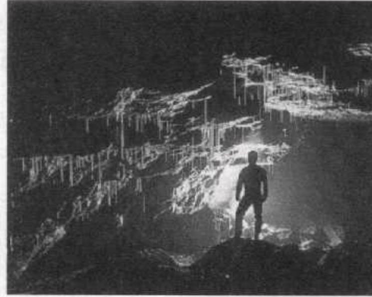
- تشبه قواعد التماثيل TalagmitePedestal Shaped
- تشبه أشكال الحيوانات Animals Shaped Stalamite
- هرمية أو مخروطية Coned shape Stalagmite
- قبابية الشكل Domed Shape Stalagmite
- روابى مزدوجة القمم Double Summits Mounds
- روابى متعددة القمم Multi-summits Mounds
- أعمدة متعددة الطوابق Multi-stages Stalagmite.
- أعمدة متدرجة (على شكل مدرجات) Teraced Stalagmite
- مداخن جيرية Limestone Chimneys.

٢-الأعمدة الهابطة (النازلة) Stalactites:

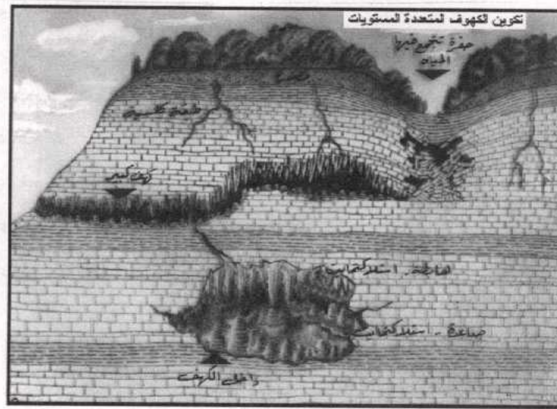
- إبرية الشكل (صورة ٦-١٣).
- ثريات متدلية (أحادية الذراع – متعددة الأذرع) (صورة ٦-١٤)
- أعمدة مقطعها يشبه حرف أوميجا Ω.
- أعمدة محززة.
- أعمدة ملساء.
- أعمدة مقاطعها دائرية
- أعمدة مقاطعها نصف دائرية



صورة (٦-١٣) أعمدة أبرية نازلة من سقف كهف



صورة (٦-١٤) أعمدة نازلة من سقف أحد الكهوف



شكل (٦-١٦) تكوين الكهوف المتعددة المستويات نتيجة إنخفاض مستوى الماء الباطنى

٣-الأعمدة المتصلة Jointed Column.

٤-الستائر الكلسيةCaveous Curtains.

٤-مدرجات الكهوف الكلسية Travertine Caves Terraces

٥-رواسب أرضية الكهوف Caves Floor Deposites :

- حبيبية الشكل Granular.
- إبرية Stylar.
- كروى Ball-Shaped.
- مموجة ملساء Waved & Smooth.
- متبلرة Crystalline.
- مدرجات Scalar.

٦-رواسب متدلية من أسقف الكهوف Spelcothems.

٧-مدرجات ترافرتين جوفية Underground Travertine Terraces.

٨-مخاريط الهشيم الجوفية Underground Talus Cones.

تصنيف كهوف الكارست :

تصنف كهوف الكارست حسب عدد من الضوابط أهمها مايلى :

(أ) حسب نظام بنية الطبقات :

١- كهوف الطبقات الأفقية .

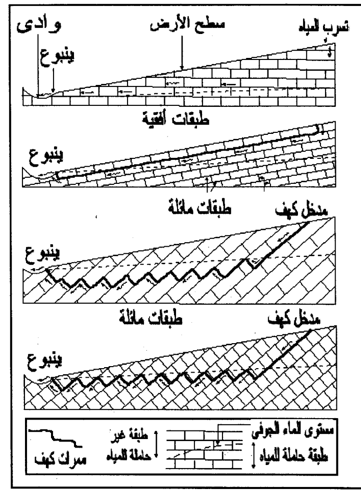
٢- كهوف الطبقات المائلة .

٣- كهوف الطبقات الرأسية وشبه الرأسية..

٤- كهوف المناطق الالتوائية .

٥-كهوف المناطق الانكسارية .

٦-تأثير نظم الفواصل على الكهوف .



شكل (٦-١٧) تأثير نظم بنية الطبقات على إمتداد ممرات كهوف الكارست

(ب)حسب أشكال مداخل الكهوف :

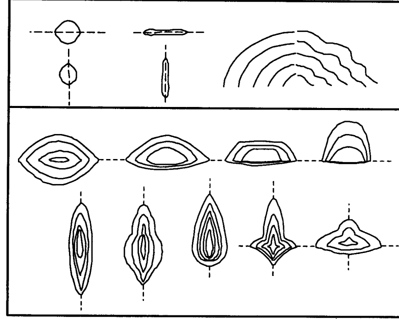
١- مداخل دائرية أو شبه دائرية.

٢- مداخل بيضاوية .

٣- مداخل مثلثة.

٤- مداخل طولية .

٥- مداخل عرضية.
٦- مداخل مستطيلة.
٧- مداخل معينة الشكل.
٨- مداخل عديسية .
٩- مداخل نجمية.
١٠- مداخل عديمة الشكل.



شكل (٦-١٨) تأثير نظم الشقوق والفواصل على تحديد أشكال مداخل الكهوف

(ج) حسب عدد مداخل الكهف:

١-كهوف إحادية المدخل Blind Cave.
٢-كهوف مزدوجة المداخل Double Cave Entrances.
٣-كهوف متعددة المداخل Multy Cave Entrances.

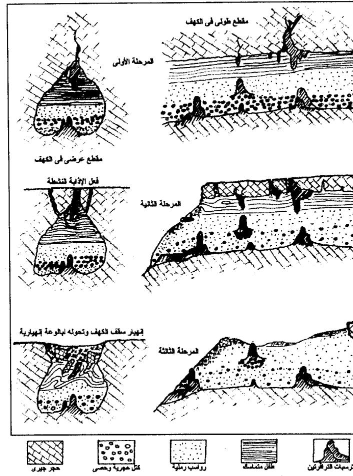
(د) حسب تأثير عوامل التعرية:

١-كهف مسقوف Roof cave.

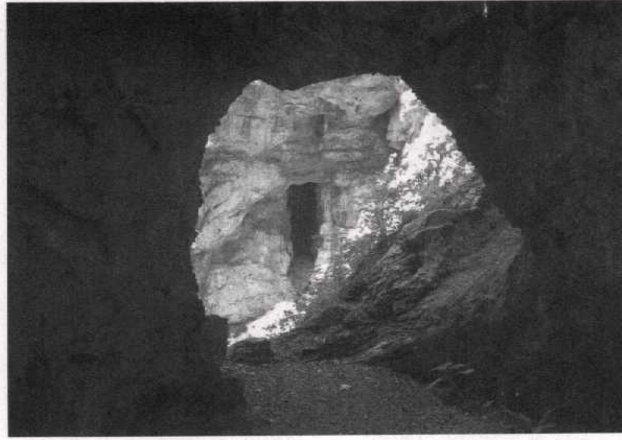
٢-كهـــف مكشـــوف بدون سقف Roofless Cave أى تعرض سقفه للإنهيار وتحول بالتالى إلى حفرة إنهيارية طولية الإمتداد Collapse Sinkhole .

٣-كهف متآكل Eroded Cave أو كهف إنهيارى Collapse Cave .

٤-كهـــف حفرى Fossil Cave :أى كهف غير نشط أو خامل ، وينتشر هذا النوع من الكهوف فى الأقاليم الجافة وشبه الجافة الحالية وهو تكون فى ظروف مناخية مطيرة.



شكل (٦-١٩) مراحل إنهيار سقف أحد كهوف سلوفنيا



صورة (٦-١٥) أثنين من مداخل الكهوف يفصل بينهما بالوعة إنهيارية فى منطقة Rakov Skocjan فى سلوفنيا (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٣)



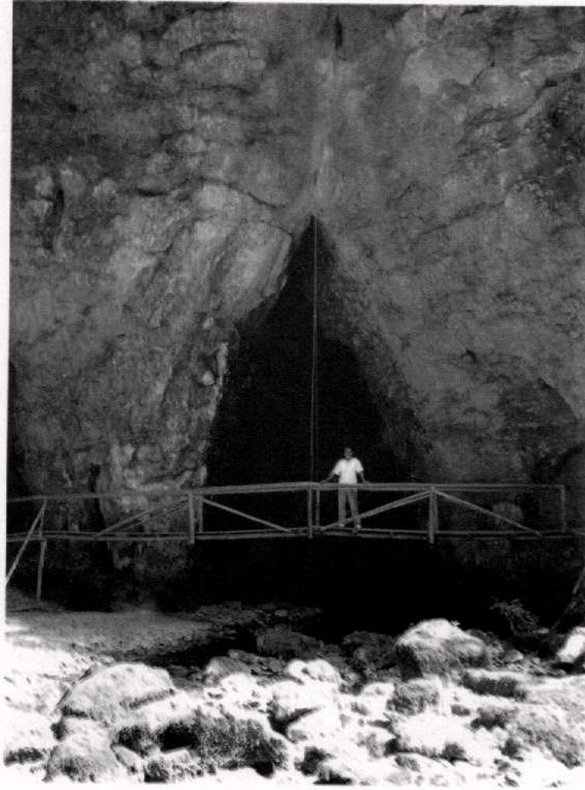
صورة (٦-١٦) مدخل كهف بيضاوى الشكل يظهر بداخلة مجرى مائى جوفى فى منطقة Rakov Skocjan فى سلوفنيا (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٣)

٢-بالوعات الإذابة الانهيارية

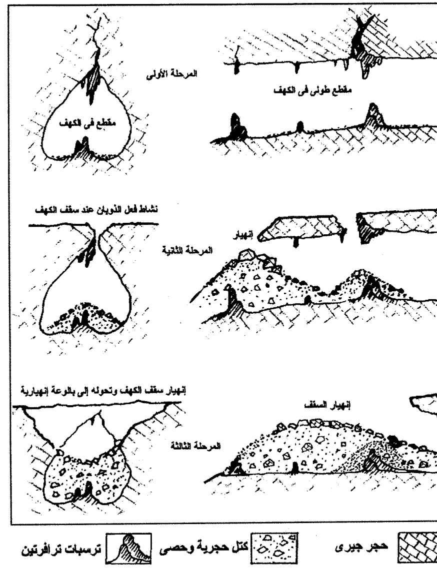
Collapse Dolines or Collapse Sink Holes

يتكون هذا النمط من البالوعات نتيجة نشاط عملية الاذابة تحت سطح الأرض وبصفة خاصة فى الكهوف ، مما يؤدى إلى انهيار أسقف هذه الكهوف مكونة حفر دائرية الشكل تتميز بشدة انحدار أحد جوانبها ، وإنتشار الفتات الصخرى الناتج عن الانهيار على قاعها ، ويستخدم تعبير " دولين Doline " (باللغة الصربية Dolinas) والذى اشتق من إقليم الكارست فى صربيا للدلالة على النوع السابق وهو الناتج عن عملية الإذابة الكيميائية، أما تعبير بالوعات الانهيارية فيطلق على تلك البالوعات التى تتصف جوانبها بشدة الانحدار نتيجة انهدام سقف التجاويف الأرضية، وعلى العموم فإن بالوعات الإذابة Dolines تعتبر أكثر شيوعا من البالوعات الانهيارية حتى فى مرحلة النضج من الدورة الكارستية، وعادة ما نجد المياه الجارية السطحية التى تنصرف فى تلك البالوعات طريقها إلى المسالك الباطنية بواسطة عملية التسرب خلال التربة المتكونة في قاع البالوعة.

وهناك نمط آخر من البالوعات الانهيارية يطلق عليه النافذة الكارستية Karst Window ، ويستخدم هذا المصطلح للدلالة على جزء من كهف كارستى انهدم سقفه وتحول إلى واد، وتنساب المياه فى الوادى السطحى متدفقة من الكهف إلى منطقة مفتوحة ثم تدخل إلى كهف آخر على الجانب المقابل، وقد تتفاوت هذه الفتحة من مجرد فتحة ضيقة جداً إلى فتحة كبيرة جداً، ولقد استخدم مصطلح "Uvala" باللغة البوسنية للتعبير عن منخفضات أكبر حجماً تتشكل نتيجة تهدم مقاطع كبيرة من أسقف الأنهار الجوفية .



صورة (٦-١٧) مدخل كهف مثلث الشكل ينتهى إليه وادى أعمى فى منطقة Rakov Skocjan فى سلوفنيا (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٣)



شكل (٦-٢٠) مراحل تحول كهف إلى بالوعة أنهيارية

خامساً : التصريف المائى فى مناطق الكارست :

١- نظم التصريف المائى :

(أ) مجارى سطحية Surface Streams.

(ب) مجارى جوفية Underground Streams.

(ج) مجارى مفقودة Missing Streams.

(د) مجارى منبعثة أو بازغة Emerging Streams.

(هـ) مجارى متسربة Flow Out (Sneak) Streams.

(و) الأسر النهرى الجوفى Underground River Capture.

٢- أهم الأشكال الجيومورفولوجية المرتبطة بالتصريف المائى الجوفى:

(أ) حفر وعائية جوفيةUnderground Pot-holes.

(ب) خوانق جوفية Underground Gorges.

(ج) شلالات جوفيةUnderground Waterfalls.

(د) مسيلات جوفية Underground Gullies

(هـ) منعطفات جوفيةUnderground Meanders.

(و) مدرجات جوفية (ترافرتين)Underground Travertine Terrace.

(ز) مراوح جوفيةUnderground Alluvial Fans.

سادساً : تصنيف أشكال الكارست Classification of Karst landforms :

تصـنف أشـكال الكارسـت وفقـا لعدد من المعايير أو الضوابط سواء حسب التكوين الجـيولوجى ، أو البنية الجيولوجية ،أو مدى نشاط عملية الإذابة ، الفعل التحاتى ، حسب نوع وكثافة الغطاء النباتى :

١- حسب نوع الصخر:

(أ) أحجار جيرية. (ب) دولوميت. (ج) طباشير.

٢- حسب نظام البنية الجيولوجية:

(أ)طبقات أفقية Horizontal

(ب)طبقات مائلة Dipped

(ج)طبقات رأسية Vertical

(د)مناطق إلتوائية Folded

(هـ)مناطق إنكسارية Faulted

٣- حسب نشاط فعل الإذابة:

(أ) أشكال كارست نشطة Active Karst Features

(ب) أشكال كارست غير نشطة (متبقية عن مناخ قديم)
Unactive Karst Features

٤- حسب الفعل التحاتي :

(أ)أشكال ناتجة عن النحت Denudation Karst.

(ب)أشكال ناتجة عن الارساب Deposition Karst.

(ج) أشكال متبقية Residual Features.

٥- حسب الغطاء النباتي :

(أ) أشكال كارست مكشوفة Exposed karstic features.

(ب) أشكال كارست مغطاة بالغابات أو الحشائش Vegetative Karst.

سابعاً: التوزيع الجغرافي لأهم مناطق الكارست في العالم :

ينتشر المظهر الكارستي في أكثر من ١٥ % من سطح الأرض ، لعل أشهرها إقليم الكارست Karst غرب سلوفينيا ، وبالإضافة إلى وجود هذا المظهر في المنطقة التي أعطته اسمها، فإنه يوجد أيضا في منطقة كوس Causse في جنوب فرنسا، ومنطقة يوركشير-دالاس Yorkshire–Dalse في بريطانيا، وفي سهل الأندلس بأسبانيا، وفي اليونان، وفي جاميكا، وماليزيا ، وجزر أندونيسيا ، والفلبين ، وشمال بورتوريكو، والهوامش الغربية لكوبا، وفي وسط

فلوريدا ، وفى السهل الساحلى للخليج الأسترالى العظيم ، وغيرها . وتنتشرفى جميع هذه المناطق العديد من الأشكال الكارستية الفريدة ، ولكن لا تستأثر أى منطقة منها بكل الظاهرات الجيومورفولوجية التى يتكون منها النمط الطبوغرافى الكارستى ،ولذلك لا يمكن إدراك الخصائص الجيومورفولوجية للمظهر الكارستى إلا بدراسة مناطق عديدة ، ذلك لأن المظهر الكارستى المثالى لا يمكن تشكله فى منطقة واحدة [1] . ومن ناحية أخرى فإن كل منطقة لها سماتها التى تميزها عن المناطق الأخرى من حيث خصائصها الجيولوجية المميزة ، وكذلك المرحلة التى قطعتها من دورتها التحاتية ، وهى التى يطلق عليها الدورة الجيومورفولوجية الكارستية .

---

(1) لضمان دراسة الأنماط المختلفة لأشكال الكارست حرص المؤلف على زيارة نماذج من بيئات متنوعة لمناطق الكارست فى العالم هى:

(أ) الظاهرات الكارستية فى منطقة الجبل الأخضر فى ليبيا وكهف الشقية الواقع على الجانب الأيمن من وادى درنة خلال فترة عمل المؤلف فى جامعة قاريونس (١٩٩١-١٩٩٣).

(ب) أشكال التشرشر الجيرى فى يوركشير Yorkshire وكهوف White Scar Caves (سبتمبر ١٩٩٩).

(ت) مدرجات الترافرتين الناتجة عن انسياب المياه الحارة المشبعة ببيكربونات الكالسيوم بالقرب من مدينة Denizily بتركيا (يوليو ١٩٩٨).

(ث) كهف جعيتة فى لبنان وبعض أشكال الكارست فى مجموعة الأنهار اللبنانية ومحيط مدينة بيروت (٢٠٠٠-٢٠٠٢).

(ج) كهف الضويات بالقرب من قرية مشتى الحلو فى سوريا ومجموعة الينابيع المتاخمة له (يوليو ٢٠٠٢).

(ح) مجموعة كهوف إقليم الكارست فى سلوفينيا وأهمها : Skocjanske Jame الذى أعتبرته منظمة اليونسكو محمية طبيعية منذ عام ١٩٨٦ ، Postojana Jame ، بالإضافة إلى أشكال الكارست المنتشرة فى وادى Rakov Skocjan وأهمها بالوعات الإذابة بأنواعها المختلفة ، الكهوف الإنهيارية، والكهوف المتطورة إلى بالوعات إنهيارية ، والمجارى المائية العمياء ، وأشكال الكارست الجليدية فى أودية Logarska Dolina ، Mojstrana فى منطقة جبال الألب السلوفانية (أغسطس ٢٠٠٣).

(خ) أحد الكهوف الكارستية النادرة المتكونة فى جرف بحرى ويتأثر مدخلها بالنحت بالأمواج على الطرف الجنوبى لإيطاليا جنوبى مدينى Otranto بحوالى ١٧ كم (سبتمبر ٢٠٠٣).

(د) بعض كهوف سلطنة عُمان كنموذج لأشكال الكارست المتخلفة عن المناخ المطير فى عصر البلايستوسين وأهمها : نظم كهوف الهوتة فى الجبل الأخضر ، وكهف طيق جنوب مدينة صلالة (سبتمبر ٢٠٠٣).

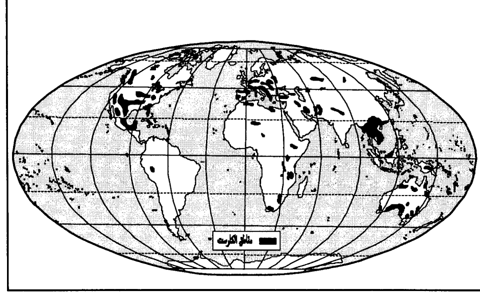


شكل (٦-٢١) التوزيع الجغرافى لأهم كهوف الكارست الحفرية القديمة المتبقية عن المناخ الرطب خلال عصر البلايستوسين فى سلطنة عُمان

كما تنتشر بعض الظاهرات الكارستية المتبقية عن ظروف المناخ الرطب الذى حدث خلال الفترات المطيرة بعصر البلايستوسين ، وتتبعثر هذه الأشكال فى النطاقات الصحراوية الحالية مثل

إقلـــيم الجبل الأخضر ، ومحافظة ظفار بسلطنة عُمان، وسهل الاحساء ومنطقة القصيم بالمملكة العربـــية الســـعودية ، وأجزاء من الصحراء الغربية المصرية وأهمها هضبة مارمريكا الميوسينية ، وبتكوينات الحجر الجيرى الايوسينى فيما بين منخفض الداخلة ووادى النيل .

تسود معظم مناطق الكارست فى الأقاليم التى تتكون من الحجر الجيرى ، وأن كان فى بعض الأماكن يرتبط وجود الكارست بصخور الدولوميت أى الحجر الجيرى الدولوميتى. وقد تتكون الظاهرات الناتجة عن عملية التحلل الصخرى فوق صخور قابلة للتحلل غير الحجر الجيرى أو حجر الدولوميت مثل صخر الجبس و الملح الصخرى Salt Rock ، ولكن مثل هذه الظاهرات المبعثرة لا تكتسب أهمية كبيرة فى الدراسات المتعلقة بالكارست ، ولما كان الحجر الجيرى من الصخور السائدة فى القشرة الأرضية ، كان يتوقع بالضرورة إنتشار المظهر الطبوغرافى الكارستى فى بقاع سطح اليابس من الكرة الأرضية ، ولكن الحقيقة أن المظهر الكارستى بأكمل وأجلى صورة يقتصر وجوده على أجزاء من مناطق الحجر الجيرى الواسعة الإنتشار ، نظرا لعدم توفر الظروف الملائمة لتكونه .



شكل (٦-٢٢) التوزيع الجغرافى لمناطق الكارست فى العالم

مناطق شبه الكارست :

بالإضافة إلى المناطق التى ذكرت آنفا، يوجد عدد لا يحصى من المناطق التى توجد بها الظاهرات الكارستية ، ولكن لا تسود أو تطغى هذه الظاهرات على المظهر الطبوغرافى المميز لتلك المناطق ، وقد يرجع سبب عدم سيادة المظهر الكارستى لسبب أو أكثر مما يلى:

١ - حداثة المرحلة التى قطعتها المنطقة من دورتها الجيومورفولوجية ، وبذلك تكون معظم الظاهرات الكارستية لازالت فى دور التشكيل أو بداية مرحلة الشباب.

٢- عدم هطول كميات من الأمطار تكفى لتنشيط لفعل الإذابة .

٣- الإنحدار الشديد لسطح الأرض قد لا يعطى فرصة زمنية مواتية لتغلغل المياه داخل التكوينات الكربونية .

٤- عدم تكون نظم فواصل كثيفة فى التكوينات الصخرية تسمح بتسرب المياه داخلها .

ولكن عادة ما يكون السبب هو غياب عامل أوأكثر من العوامل الأساسية اللازمة لتكوين المظهر الكارستى المثالى ، وأينما يوجد صخر قابل للتحلل مثل الحجر الجيرى، أو الدولوميت ، أو الجبس يمكن توقع عملية التحلل ، ولكن بشرط توفر الظروف الملائمة لذلك.

ثامناً : الدورة الجيومورفولوجية الكارستية:

The karst gromophic cycle

تمــر أشكال الكارست بدورة تطورية يمكن أن نطلق عليها تعبير الدورة الجيومورفولوجية الكارســتية ، تســتوى فى ذلك مع جميع مظاهر سطح الأرض ، وقد اقترح الجيومورفولوجى اليوغســلافى "تســفيتش civic" هذه الدورة الكارستية ، فهو يرى أن أشكال الكارست تمر بأربع مراحل فى تطور دورتها الجيومورفولوجية هى:

١- مرحلة الشباب youth

٢- مرحلة النضج Maturity

٣- مرحلة النضج المتأخرة late Maturity

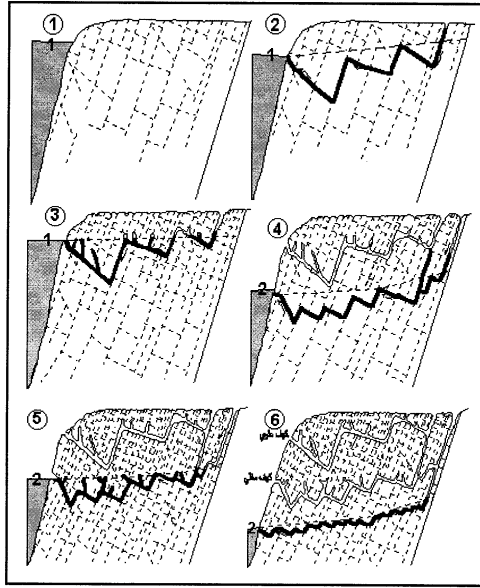
٤- مرحلة الشيخوخةOld Stage

ويرى "تسفيتش" أن مرحلة الشباب تبدأ بتصريف نهرى سطحى إما على سطح أصلى جيرى ، أو على سطح عار يتميز بشبكة كثيفة من التصريف النهرى الجوفى Underground Network ، وتنتشر خلال هذه المرحلة المبكرة من مراحل تطور المظهر الطبوغرافى الكارستى بعض الظاهرات أهمها : التشرشر الجيرى بمختلف درجاته Lapis or Karren ، وحفر الإذابة Doling ، كما تبدأ بعض الكهوف Caves فى التكوين ، ولكن لا تتكون داخلها فى هذه المرحلة النوازل والصواعد بأشكالها البديعة.

وفى مرحلة النضج تنمو شبكات التصريف الباطنى لأقصى درجات تطورها ، على حساب التصريف السطحى الذى يقتصر على بعض الجداول المائية والنهيرات الغائرة والأودية العمياء التى تصب حمولتها فى البالوعات ، وتعتبر هذه المرحلة الفترة التى تتجلى فيها الظاهرات الكارستية بأجمل صورها، كما تتميز هذه المرحلة بتكوين شبكات كثيفة من الكهوف المتعددة الطوابق ، كما يرتبط عدد هذه الطوابق ، وتحديد مستوياتها بتذبذب منسوب سطح البحر ، الذى يؤثر بدوره فى تغير مستويات الماء الجوفى (شكل٦-٢٣).

أما مرحلة النضج المتأخرة فتعتبر بداية اضمحلال وتهدم الظاهرات الكارستية، فتتعرض أسقف الكهوف للإنهيار وتتحول إلى أودية طولية ، كما تتحطم أسقف بالوعات الإذابة ، والكبارى الطبيعية ، تفصل بينها مجموعات متناثرة من التلال المنعزلة Hums ، وتصبح مناطق الكارست متقطعة الأوصال ، ويختلف مظهرها المورفولوجى عن السطح الجيرى الأصلى .

وتتميز مرحلة الشيخوخة بعودة ظهور التصريف السطحى مرة أخرى مع وإنتشار التلال الإنعزالية المتبقية من السطح الجيرى القديم لسطح الأرض.



شكل (٦-٢٣) مراحل الدورة الجيومورفولوجية لكهوف الكارست
بتأثير تذبذب مستوى الماء الباطني من المستوى (1) إلى المستوى (2)

وعلى ذلك فإن كل أجزاء سطح الأرض الجيرية تتأثر دون شك بدرجات متفاوتة بعوامل التعرية ، فقد تظهر فى أجزاء منها بعض خصائص مرحلة ، وتبدو فى أجزاء أخرى خصائص مرحلة النضج ، كما يمكن أن نرى خصائص مرحلة الكهولة فى جزء ثالث . ففى

الإقلـــيم الكارســـتى الواحد يمكن وجود خصائص المراحل الثلاث فى الدورة الجيومورفولوجية الكارســـتية ، وقـــد يحدث هذا لاختلاف بعض الظروف الموضعية داخل الإقليم الواحد ، مثل تباين كثافة نظم الفواصل الصخرية ، ودرجة إتساعها، أو إختلاف درجة إنحدار سطح الأرض، أو درجـــة تقوسه ، وغيرها من العوامل ، ويحدث هذا الأمر تماماً فى الدورة الجيومورفولوجية النهرية، فنجد فى بعض الأحيان بعض مظاهر مرحلة الشباب فى الجزء الأوسط للنهر ، لظروف بنـــيوية أو ليثولوجية محلية ، على حين تظهر بعض ملامح مرحلة النضج فى أحد الروافد العليا للنهر ذاته.

قائمة المراجع :

أولاً : معاجم عن أشكال الكارست :

1. Addison, K., 1973, Selected glossary, *in* Sweeting, Marjorie M., *Karst Landforms:* Columbia University Press, New York, p. 332-335.
2. Bates, Robert L. and Jackson, Julia A. (editors), 1987, *Glossary of Geology* (third edition): American Geological Institute, Alexandria, Virginia, 788 p.
3. F'nelon, Paul, 1968, Vocabulaire Francais des phenomenes karstiques, *in* F'nelon, P. (editor), Phenomenes karstiques: *Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, Memoires et Documents,* v. 4, p. 13-68.
4. Food and Agriculture Organization, 1972, *Glossary and Multilingual Equivalents of Karst Terms, First Preliminary Edition:* United Nations Food and Agricultural Organization, 72 p.
5. Gams, Ivan, 1973, *Slovenska Kraska Terminologija* (Slovene Karst Terminology): Kraska Termonologija Jugoslovanskih Narodov, Ljubljana, Yogoslavia, v.1, 77p.
6. Monroe, Watson H., 1970, A glossary of karst terminology: *United States Geological Survey Water-Supply Paper* 1899-K, 26 p.
7. Muma, Martin H. and Muma, Katherine E., 1944, A glossary of speleology: *Bulletin of the National Speleological Society,* v. 6, p. 1-10.
8. Paloc, Henri, 1975, Glossaire d'hydrogeologie du karst, *in* Burger, A. and Dubertret, L. (editors), Hydrogeology of karstic terrains: *International Union of Geological Sciences,* Series B., no. 3, p. 151-186.
9. Trimmel, Hubert (editor), 1965, *Spel‿ologisches Fachw"rterbuch:* Landesverein f!r Hohlenkunde in Wien und Nieder"sterreich, 112 p.

10. White, William B., 1986, Geological terms used in caving: *National Speleological Society Caving Information Series* no. GEO 8601, 4 p.

ثانيا : مراجع عامة عن أشكال الكارست :

1. Bleahu, Marcian D., 1974, *Morfologia Carstica* (in Rumanian, untranslated): *Conditionarea Geologica si Geografica a Procesului de Carstificare:* Editura Stiintifica, Bucharest, Romania, 590 p.
2. Bögli, Alfred, 1980, *Karst Hydrology and Physical Speleology* (translated from the German by June C. Schmid): Springer-Verlag, New York, 284 p.
3. Bonacci, Ognjen, 1987, *Karst Hydrology: With Special Reference to the Dinaric Karst* (translated from the Yugoslavian) (Springer Series in Physical Environment 2): Springer-Verlag, New York, 184 p.
4. Burger, Andrǀ and Dubertret, Louis, 1984, Hydrogeology of karstic terrains: Case histories: *International Association of Hydrogeologists, International Contributions to Hydrogeology,* v. 1, 264 p.
5. Dreybrodt, Wolfgang, 1988, *Processes in Karst Systems Physics, Chemistry and Geology:* (Springer Series in Physical Environment 4): Springer-Verlag, New York, 288 p.
6. Ford, Trevor D. and Cullingford, C. H. D. (editors), 1976, *The Science of Speleology:* Academic Press, New York, 593 p.
7. Ford, Derek C. and Williams, Paul, 1989, *Karst Geomorphology and Hydrology:* Unwin Hyman, Winchester, Massachusetts, 320 p.
8. Gams, Ivan, 1974, *Kras* (*Karst,* in Yugoslavian, untranslated): Izdala Slovenska Matica, Ljubljana, Yugoslavia, 359 p.
9. Herak, M. and Stringfield, Victor T. (editors), 1972, *Karst: Important Karst Regions of the Northern Hemisphere:* Elsevier Publishing Company, New York, 551 p.

10. Hill, Carol A. and Forti, Paolo, 1986, *Cave Minerals of the World:* National Speleological Society, Huntsville, Alabama, 238 p.
11. Jakucs, Laszlo, 1977, *Morphogenetics of Karst Regions: Variants of Karst Evolution* (translated from the Hungarian): Halstead Press, John Wiley and Sons, New York, 284 p.
12. Jennings, Joseph N., 1971, *Karst:* M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 252 p.
13. Jennings, Joseph N., 1985, *Karst Geomorphology* (revised and expanded edition of Jennings, 1971): Basil Blackwell, Oxford and New York, 293 p.
14. Maksimovich, G. A., 1963, *Osnovy Karstovedeniya, T. 1, Voprosy Morfologii Karsta Speleologii i Gidrogeologii Karsta (Principles of Karst Science, v. 1, Questions of Karst Morphology, Speleology, and Karst Hydrogeology,* in Russian, untranslated): Permske Knizhoe, Izdat, Perm, 445 p.
15. Maksimovich, G. A., 1969, *Principles of Karst Science, v. 2, Questions of Karst Hydrogeology, Rivers and Lakes of Karst Regions, Karst of Chalk, Hydrothermokarst:* Permske Knizhoe, Izdat, Perm, 530 p.
16. Mijatov°c, Borivoje F., 1984, Hydrogeology of the Dinaric karst: *International Association of Hydrogeologists, International Contributions of Hydrogeology,* v. 4, 254 p.
17. Milanovic, Petar T., 1981, *Karst Hydrogeology* (translated from the Yugoslavian by J. J. Buhac): Water Resources Publications, Littleton, Colorado, 434 p.
18. Moore, George W. and Sullivan, G. Nicholas, 1979, *Speleology, the Study of Caves* (second edition): Zephrus Press, 150 p.
19. Sweeting, Marjorie M., 1973, *Karst Landforms,* Columbia University Press, New York, 362 p.
20. Trimmel, Hubert, 1968, *H"hlenkunde (Cave Science,* in German, untranslated): Friedr, Vieweg & Sohn, Braunschweig, 300 p.

21. Trudgill, Stephen, 1985, *Limestone Geomorphology* (Geomorphology Texts, No. 8), Longman, London and New York, 196 p.
22. Trudgill, Stephen (editor), 1986, *Solute Processes:* John Wiley and Sons, Chichester, Great Britain, 512 p.
23. White, William B., 1988, *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains,* Oxford University Press, New York, 464 p.
24. White, W.B., 1984: *Rate processes: chemical kinetics and Karst landform development.* V Groundwater as geomorphic agent. R.G. Lafleur (edit.)227-248 London.
25. Zotl, Joseph G., 1974, *Karsthydrogeologie* (Hydrogeology of Karst, in German, untranslated): Springer-Verlag, Vienna, Austria, 291 p.

ثالثاً : مراجع تتعلق بأقاليم الكارست فى شبه الجزيرة العربية وسلوفنيا :

(أ) مراجع باللغة العربية :

١. حنا، سمير وما لكير، فرانك (١٩٩٨): دراسة جيولوجية وهيدروجيولوجية للمـــنطقة الواقعـــة بين طوى اعتير وقشروب (ظفار، سلطنة عُمان) جامعة السلطان قابوس (غير منشور) : مسقط.

(ب) مراجع بلغات أجنبية :

1. Abdul Razzak, M.J., Sorman, A.U. & Al-Hames, A.S. (1989):Water balance approach under extreme arid conditions - Case study of Tabalah-basin, Saudi Arabia. Hydrological Processes, 3: 107-122.
2. Abdullah, M. & Alam, S.A. (1987):Karstphenomena Project. Karst Geomorphology of the Shawia and Ma'aqla Area. Map 1 : 50,000, Dhahran.
3. Al-Saafin, A.K., Bader, T.A., Hötzl, H., Shehata, W., Wohnlich S. & Zötl (1990):Groundwater Recharge in an Arid Karst Area in Saudi Arabia. Selected Papers on Hydrogeology, 1, Hannover (Heise): 29-41

4. Al-Saafin, A.K., Bader, T.A., Shehata, W., Hoetzl, H., Wohnlich, S., Zoetl, J.G. (1989):Groundwater Recharge in an Arid Karst Area in Saudi Arabia, Selected Papers on Hydrogeology from the 28th International Geological Congress, Washington, D.C. USA: 29-41
5. Al-Sayari, S.S. & Zötl, J.G. (Eds., 1978):Quaternary Period in Saudi Arabia. 1: Sedimentological, Hydrogeological, Hydrochemical, Geomorphological and Climatological Investigations in Central and Eastern Saudi Arabia - XI, 335 S., Vienna/New York (Springer).
6. Baciewicz, W., Millner, D.M & Noori, M., (1982): Hydrogeology of the Umm er Radhmuma Aquifer, Saudi Arabia with reference to fossil gradients - Q.J. Eng. -Geol., 15, London: 105-126.
7. Benischke, R., Fuchs, G. & Weissensteiner, V. (1989):Karst phenomena of the Arabian Shelf Platform and their Influence on Underground Aquifers. Third Report. Speleological Investigations in the Shawyah-Ma'aqla Region, Eastern Province, Saudi Arabia, Vol. I, 59 pp, 7 figs.; Vol. II, 6 pp., 16 figs., 15 maps, Graz.
8. Bjurström, Lars (2000): Caving in Saudi Arabia, Ahlan Wasahlan (Saudia Airways) November 2000, 12-17.
9. Cucchi,F.& f . Forti & A. Marinetti, 1997 : Surface degradation of carbonate rocks in the karst of Trieste (Classical Karst, Italy) . Fieldtrip guide, Meeting M , Fourth International Conference on Geomorphology, 3-8, Trieste .
10. Cucchi, F ., & p. Forti, 1989: The first absolute datation of a speleothem from Trieste Karst. Acta carsologica 18, 53-64, Ljubljana.
11. Dabbagh, A.E., Hötzl, H., Zötl, J.G. (1988):Karst Features of the Arabian Platform and their Influence on Aquifers, Proceedings of the IAH 21st Congress, Karst Hydrogeology and Karst Environment Protection, V. XXI, Part I, Guilin, China, Geological Publishing House, Beijing, China, 1988: 452-460

12. Davison, W.D. jr. (1985) An Overview of Karst in the Sultanate of Oman - NSS Bulletin, 47 (1), Huntsville (NSS): 62

13. Davison, W.D. Jr. (1985):Meeting Place of the Spirits. - Aramco World, 41 (5), Dhahran, Saudi Arabia (Aramco): 16-23

14. Davison, W.D. Jr. (1985):The Caves of the Selma Plateau, the Sultanate of Oman - NSS Bulletin, 47 (1), Huntsville (NSS): 62

15. Davison, W.D. Jr. (1985):Majlis Al Jinn Cave, Sultanate of Oman - Report PAWR (Public Authority for Resources), Oct. 1985, 17 S., Muscat: 85-20

16. Drole, F., 1997: New survey of Skocjanske jame. Proceeding of the 12th International Congress of Speloelogy, 6, (v tisku), La Chaux-de-Fonds.

17. Edgell, H.S. (1993) Karst and Water Resources in The Hyperarid Areas of Northeastern Saudi Arabia, Proceedings of Articles of International Karst Symposium (Vol I) Shiraz, Iran: 309-326

18. Ganter, J. (1998):Caving on the Selmeh Plateau, Sultanate of Oman - NSS News, April 1998: 100-108

19. Ganter, J.H., Davison, W. D. Jr. (1989):Desert Mountain Karst of the Middle East, with Emphasis on the Selmeh Plateau, Sultanate of Oman. Geological Society of America Annual Meeting, GSA Abstracts with Programs 21:6, October 1989.

20. Gespodarič, R., 1985: Age and development of collapse dolines above the cave systems. The examples from classical karst of Slovenia (NW Yugoslavia). Annales de la Société Géologique de belgique, 108, 113-116, Liege.

21. Goudie, A.. S., 2004, Encyclopedia of Geomorphology, International Association of Geomorphology, New York, 1156p.

22. Hanna, S. &AI-Belushi M.(1996): Introduction to the caves of Oman, Sultan Qaboos University : Muscat.

23. Herak, M. and Stringfield,V.T. (1972: Karst, Important karst regions of the northern hemisphere,Elsevier publishing company, New York, 551 p.

24. Hötzl, H., Sheikh, K.S. & Zötl, J. (1988):Geomorphologic Map of Ma'aqala Area, Province of Al Hasa, Saudi Arabia, Dhahran-Graz-Karlsruhe, 1:50,000.

25. Irtem, O., Wasim, A. (1987):Karstphenomena of the Arabian Shield Platform and their Influence on Underground Aquifers. Stratigraphy and Sedimentology, 31 pp, 22 figs., Dhahran.

26. Jado, A.R. & Zötl, J.G.(1984):Quaternary Period in Saudi Arabia. Volume 2: Sedimentological, Hydrogeological, Hydrochemical, Geomorphological, Geochronological and Climatological Investigations in Western Saudi Arabia - XII, 361 S., Vienna/New York (Springer).

27. Kenz, M. & Kranjc, A. & Mihevc, A. & Petrič, M., 1997:The Caves of Škocjanske Jame and Kras. – Acta carsologica, 26 / 1, supplementum, 8-35, Ljubljana.

28. Kranjc,A . (ed.) , 1997 :Slovene Classical Karst – Kras. Zalozba ZRC, p. 254 , Ljubljana

29. Middleton, A. (1985):Oman 85. Stafford Speleo Journal, 1 (May), 1-4, Stafford, U.K.

30. Middleton, J.R. (1978):Some Notes on the World Caving Scene, Asia. Caves & Caving, No.1 (Aug. 1978), 2-11, Bridgwater, UK (Brit. Cave Res. Assoc).

31. Myers, R. (1984):In search of caves: No. 1. Saudi Arabia - Craven Pothole Club Journal, 6 (5-6), Skipton, U.K.: 226-228.

32. Peters, D., Pint, J., Kremla, N. (1990):Karst Landforms in the Kingdom of Saudi Arabia, NSS Bulletin, June, 1990: 21-32

33. Pint, J., Peters, D. (1985):The Caves of Ma'aqala, NSS News, Sept. 1985: 227-282

34. Pint, J. (1995):The Treasures of Dahl Sultan, Ahlan Wasahlan, October, 1995: 16-19

35. Pint, J. (1995):The Caves of Ma'aqala, The Desert Rambler (Riyadh Natural History Society), January 1995; Into the Teapot, March 1995

36. Pint, J. (1997):Return to the Desert Caves of Saudi Arabia, NSS News, Nov. 1997: 329-335

37. Pint, J. (1998):Caves beneath Dunes, The Discovery of Dahl Sultan, Risalat Al-Ma'ahad 110/111, Ramadan/Shawal 1418 - Jan/Feb. 1998.

38. Pint, J. (1998):The Secrets of Dahl Shawiah, Ahlan Wasahlan, October, 1998: 12-14

39. Pint, J. (1998):Dharb Al-Najem, A Visit to Saudi Arabia's Deepest Pit, Risalat Al-Ma'ahad 118/119/120, Jumada I/Jumada II/Rajab 1419 - Sept./Oct. 1998.

40. Pint, J. , Bjurström, L. (2000):Saudi Arabia's Desert Caves, Aramco World, March/April 2000, Vol 51, No 2: 26-38

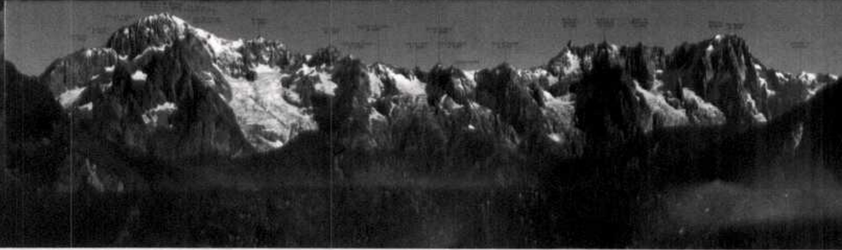
41. Pint, J. (2000):The Desert Cave Journal 1998-2000, NSS News, October 2000, Vol 58, Number 10: 276-281.

42. Waltham, A.C., Brown, R. D. & Middleton, C. (1985):Karst and Caves in the Jabal Akhdar, Oman. Cave Science, Vol 12, No 3 (Sept. 1985), Bridgwater, UK (Brit. Cave Res Assoc): 69-79.

الفصل السابع

أشكال الجليد

ولاً: مظاهر الجليد.
انياً: دور الجليد فى تشكيل
سطح الأرض
الثاً: تكوين الوادى الجليدى.
رابعاً: أشكال النحت الجليدى.
خامساً: أشكال الإرساب الجليدى.
سادساً: تأثير التغيرات المناخية
على الظاهرات الجليدية.



الفصل السابع
أشكال جليدية

الجليد عبارة عن كتلة متراكمة متجمدة من الثلج Snow ، والثلج فى الواقع عبارة عن قشور رقيقة هشة تشبه قطعاً من القطن المندوف ناصعة البياض ، ويسقط الثلج فى حالة إنخفاض درجـــة حرارة الجو عن الصفر المئوى ، وعندما يتزل الثلج فقد يتراكم فى طبقات سميكة يطلق عليه اسم (جليد Ice)، وقد يظل متماسكاً على السطح أو ينصهر ويتحول إلى مياه ، ويتوقف هـــذا عـــلى درجة حرارة الجو ، إلا أن هناك مناطق لا ينقطع عنها الثلج صيفاً أو شتاءاً ، مثل المناطق القطبية ، وقمم الجبال الشاهقة .

ويحـــدد هـــذه المـــناطق منسوب معين نطلق عليه خط الثلج الدائم Snow-Line ، وينطـــبق هذا المنسوب مع مستوى سطح البحر فى المناطق القطبية ، أى أن الثلوج تغطى سطح الأرض بصورة دائمة ، ثم يأخذ هذا المنسوب فى الإرتفاع عن سطح البحر تدريجياً كلما بعدنا عـــن القطبين ، حتى يبلغ أقصى إرتفاع له فى العروض الإستوائية . ففى جبال الألب الأوربية عـــلى سبيل المثال يبلغ إرتفاع هذا الخط حوالى ثلاثة آلاف متر ، وهناك بعض القمم يتجاوز إرتفاعها هذا المنسوب فى نطاق جبال الالب والبرانس ، ولذلك فإنها تكون مغطاة بالثلج طوال العام مثل بعض القمم الجبلية فى محمية Alto Adige وجبال Ortler وجبال Texelgruppe وغيرهـــا من نطاق جبال الألب الوسطى، أما السلاسل الجبلية التى تبلغ قممها منسوباً أقل من ثلاثـــة آلاف متر فقد تغطيها الثلوج شتاءً ، ولكنها تذوب، وتجرى كمياه بمجرد إرتفاع درجة الحـــرارة فى فصـــلى الربـــيع والصيف . ويرتفع هذا المنسوب لأكثر من خمسة آلاف متر عند المداريـــن كما هو الحال فى جبال الهيملايا ، وعند خط الاستواء يغطى الثلج أطراف محدودة من قمم الجبال الشاهقة مثل جبال كينيا وكليمنجارو فى وسط أفريقيا.

أولاً : مظاهر الجليد :

يتخذ الجليد على سطح الأرض أحد المظهرين الآتيين :

(أ) الغطاءات الجليدية **Ice Sheets**

(ب) الانهار الجليدية أو الثلاجات **Glaciers**

الغطـــاءات الجلـــيدية عبارة عن مناطق فسيحة جداً ، يغطيها الجليد على شكل طبقة عظـيمة السمك – تبلغ مئات الامتار – وهذا الجليد يتزلق وينتشر من الوسط نحو الاطراف بحكـــم الضـــغط والجاذبية الأرضية ، ولكنه انتشاراً بطئ جداً ، إلى أن تصل أطراف الجليد إلى أقصـــى مداها ، فتذوب – إذا كانت لا تزال على سطح الأرض ، أو تتكسر إلى قطع جليدية كبيرة الحجم تطفو على سطح البحر ، وتسمى هذه الكتل بالجبال الجليدية الطافية **Icebergs** وفى الوقـــت الحاضر يقتصر وجود الغطاءات الجليدية في الجهات القطبية ، مثل قارة انتاركتيكا وجزيرة جرينلند ، أما فى العصر الجليدى ، فقد كانت هذه الغطاءات أوسع انتشاراً منها الآن – وخاصـــة فى نصـــف الكرة الشمالى ، وقد كانت مراكز انتشارها في اسكنديناوه وفى شمال غرب أوروبا ، وكذلك فى شمال أمريكا الشمالية حتى جنوب منطقة البحيرات العظمى .

أما الثلاجات أو الانهار الجليدية Glaciers ، فتوجد عادة فى المناطق الجليدية ويقسم مجراها إلى قسمين (صورتا ٧-١ ، ٧-٢) :

١- حقـــل الثلج Snow Field : وهو عبارة عن مساحة كبيرة تتجمع فيها الثلوج فتتراكم وتـــندمج ، وعادة تحيط بها المرتفعات وقمم الجبال ، وتجمع الثلج هنا إما أن يكون عن طريق التســـاقط مـــن الهـــواء أو عـــن طريق سقوط كميات عظيمة منه على شكل انهيارات ثلجية Avalanches من منحدرات القمم المحيطة بها .

٢- الـــوادى الجليدىGlacier Valley: فهو عبارة عن النهر الذى يخرج من حقل الجليد ويسير فيه الجليد ببطء متزلقاً على سفح الجبل بتأثير الجاذبية الأرضية، حتى يصل إلى خط الثلج الدائم ، فيذوب الجليد ويجرى على شكل نهر مائى .



صورة (٧-١) مرئية فضائية لمجموعة من الأودية الجليدية

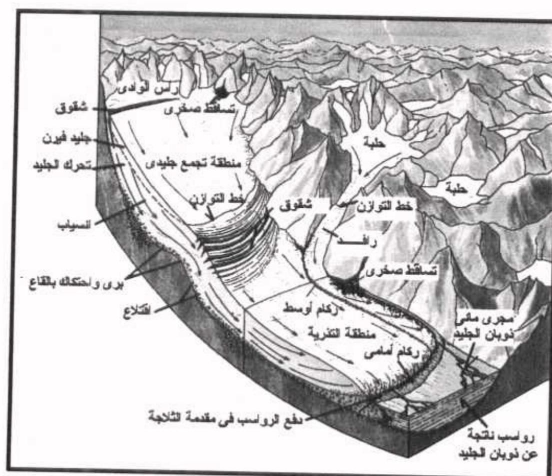


صورة (٧-٢) إحدى الثلاجات التي تنبع من جبل " أورتلز Ortles " أعلى قمم محمية " ستيلفيو Stelvio" الممتدة في أراضي شمال إيطاليا وجنوب سويسرا بمساحة تتجاوز ١٣٤ ألف هكتار (تصوير المؤلف في أغسطس ٢٠٠٤)

ثانياً : دور الجليد فى تشكيل سطح الأرض :

الجليـد المـتحرك يقـوم بدور مهم فى تشكيل سطح الأر ض كأحد عوامل التعرية المتحركة Mobile Agents فى المناطق الباردة ، ولقد كان من المُعتقد أن الجليد يحمى سطح الأرض كغطـاء أوكدرع من تأثير عوامل التعرية الأخرى ، ولربما كان هذا التصور راجعا إلى صعوبة ملاحظة حركة الجليد البطيئة ، فالجليد يترلق بدرجة من البطء لا يتمكن معها الإنسان مـن ملاحظة حركته بسهولة ، فهو يختلف عن بقية عوامل التعرية التي يستطيع المرء أن يدرك سرعة تحركها وتأثيرها التحاتى ، ولذلك كان الاعتقاد السائد فى أوائل القرن العشرين أن الجليد غطاء ثابت على سطح الأرض ، وكان ذلك أيضا سبباً من الأسباب التي دعت بعض الباحثين إلى الاعتقاد بأنه مادام الجليد ساكن غير متحرك فإن ليس له أى دور في تشكيل سطح الأرض بعمليات النحت والنقل والإرساب (شكل ٧-١ ، صورة ٧-٣).

ولكـن لوحـظ فى أوائل القرن العشرين وجود أنواع من الكتل والرواسب الصخرية المنقولة ، ولكن من الصعب نقلها بالمياه الجارية أوبفعل الرياح أوبمياه البحر ، ولاحظوا أن هذه المـواد تـبدو مختلطة وغير مصنفة ، حيث يتراكم الفتات الناعم مع الجلاميد والكتل الصخرية الضـخمة بدون ترتيب، كما أن بعض الكتل كبيرة الحجم لدرجة يصعب نقلها بعوامل التعرية الأخرى ، كما تظهرعلى هذه الكتل ببعض الخدوش Striation على سطحها تشير إلى تأثرها بالاحـتكاك أثـناء نقلها ، دفعت هذه المشاهدات للاعتقاد بأن الجليد ليس ثابتاً بل متحركاً ، وبالتالى فإن آثاره تمتد لمسافات أبعد من مناطق وجوده فى الوقت الحاضر .



شكل (٧-١) عناصر الوادى الجليدى



صورة (٧-٣) شق رأسى يظهر على السطح العلوى لإحدى ثلاجات نطاق الألب الأوسط شمال إيطاليا تكون نتيجة حركة شد جسم الثلاجة لأسفل بالجاذبية الأرضية (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٤)

ثالثاً : تكوين الوادى الجليدى:

عـــند تســـاقط الثلوج وتجمعها على القمم الجبلية المرتفعة ، يزداد سمكها تدريجيا مع اســتمرار تســـاقط الثلج وإنخفاض درجة الحرارة ، ويتحول الثلج نتيجة تراكمه وتضاغطه إلى جليد يتسم بالمرونة يطلق عليه باللغة الألمانية "جليد فيرن Firn "، تنساب منه عند حوافه بعض الألســـنة Lodes فى الادويـــة النهرية التى كانت تتبع من تلك المناطق المرتفعة قبل أن يغطيها الجليد ، وباستمرار الظروف المناخية الجليدية تنمو هذه الألسنة تدريجيا وبزيادة هذا النمو يزداد امـــتدادها داخل تلك الاودية النهرية فتعرف عندئذ بإسم الأنهار الجليدية Glaciers ويتحرك الجليد من القمم الجبلية نحو المنخفضات المتاخمة لها بتأثيرعاملين هما :

١- إنحدار سطح الأرض والجاذبية الأرضية.
٢- استمرار تراكم الجليد مع تساقط المزيد من الثلج.

كما أن سرعة تحرك الجليد تتحدد وفقاً لمجموعة من العوامل نوجزها فى النقاط التالية :

١- درجة إنحدار المقطع الطولى للثلاجة .
٢- درجة وعورة القاع .
٣- سمك الجليد المتحرك فى الثلاجة.
٤- مـــدى تســـاقط المذيد من الثلج على المنابع العليا للثلاجة ومدى إستيعاب كميات إضافية من الجليد فى الحلبة.
٥- درجة حرارة الجو فى منطقة الثلاجة.
٦- كمية وحجم حبيبات الفتات الصخرى المنقول فى الثلاجة.
٧- طبيعة الغطاء النباتى فى المنطقة .

ويواصل النهر الجليدى إحتكاكه بأرضية الوادى الذى ينساب فيه وبجانبى هذا الوادى، كمـــا بطبيعة قاع الوادى الصخرية أثرها أيضا على حركة الجليد ، فالقاع الوادى المتكون من

صــــخور متقاومة المقاومة (قوية وضعيفة) يؤثر فيه الجليد تأثيرا منفصلا بمعنى أن تأثير الجليد لا يكـــون كـــتأثر التعرية النهرية إذ أن كل جزء من النهر المائي مرتبط بالآخر منها اختلف نوع الصخر في حين أن النهر الجليدي يتوقف عمل الجليد فيه على درجة مقاومة الصخر ، فإذا كان الصـــخر ضعيفا كان نحت الجليد كبيرا والعكس صحيح. وهذا معناه أن النهر الجليدي لا يتأثر بعمل الارتباط بين أجزائه المختلفة كما هو الحال في النهر المائي وعليه فان الوادى النهري الذي يـــتفاوت نوع الصخر على قاعة قوة وضعفا ويزخف على قاعة جسم جليدي ، يتصف بعدم الانتظار حيث أن الأجزاء التي تتكون من صخور ضعيفة تكون اقل منسوبا من تلك المتكونة من صخور قوية . ولا شك أن عدم الانتظار فى إنحدار قاع الوادى المتأثر بفعل الجليد هو من نتاج الجلـــيد ، يؤثر وره بعد ذلك على حركة الجليد نفسه حيث تقف الأجزاء المرتفعة كعقبات فى مجـــرى الجليد تؤثر على أجزائه السفلي وتنعكس على سطحه فى تلك المناطق فى صورة شقوق تعـــرف باسم Crevasses ، ويمكن تصنيف الشقوق على سطح الثلاجة إلى صنفين (نوعين) من حيث الشكل العام لسطح الثلاجة، وهناك شقوق عريضة Cross Crevasses والشقوق الطويلـــة Long Crevasses . وتنشـــا الشقوق العريضة نتيجة وجود العقبات المستعرضة للاتجاه ، أما الشقوق الطويلة فتنشا نتيجة احتكاك جوانب الثلاجة بجانبي الوادى النهرى إذ أن هـــذا الاحـــتكاك يؤثر بطبيعة الحال على سرعة الجليد في جسم الثلاجة فى الأجزاء القريبة من جـــانبى الوادى تأثيرا كبيرا في حين أن الأجزاء الوسطى من جسم الثلاجة لا تتأثر كثيرا ، وهذا مـــن شانه يؤدى إلى اختلاف السرعة ويترتب على ذلك صراع بين أجزاء أسرع من أجزاء في جسم الثلاجة ، فالأجزاء الوسطى تكون أسرع من الأجزاء الجانبية ولذلك يتشقق سطح الجليد المـــتحرك شـــقوقاً طولية، ومن هنا نجد أنه فى بعض المناطق فى جسم الثلاجة تتقاطع الشقوق الطولية مع الشقوق العرضية (صور أرقام من ٧-٤ إلى ٧-٦) .



صورة (٧-٤) خدوش وحذوذ ناتجة عن إحتكاك الجليد المتحرك وفعل الصقيع على حافة جبل "تريجلاف Triglav " فى سلوفنيا (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٣)



صورة (٧-٥) شقوق عرضية على مقدمة إحدى الثلاجات فى منطقة Stillfser Joch على منسوب ٢٧٦٨متر ضمن نطاق محمية Stelvio على الحدود الإيطالية / السويسرية
(تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٤)



صورة (٧-٦) شقوق طولية ناتجة عن تحرك الجليد على المنحدر ولاحظ أن الشقوق محشوة بالرسوبيات الدقيقة المنقولة على سطح الثلاجة بالماء الجارى من قمة المنحدر (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٤)

خصائص الوادى الجليدى :

تتميز الأودية الجليدية عن الأودية النهرية بعدة خواص نوجزها فيما يلى :

١- شـــدة الفاصل الرأسى أى الفارق الرأسى بين المنابع العليا للثلاجة عند الحلبات الجليدية ومصـــباتها سواء فى الفيوردات الساحلية أو حيثما يذوب الجليد ويتحول إلى نهر مائى ، ولذلك تبدو المقاطع الطولية للثلاجات أشد إنحداراً من المقاطع الطولية للمجارى المائية .

٢- يظهـــر المقطع العرضى للوادى الجليدى على شكل حرف U سواء عند منابعه العليا أو أجـــزاءه الدنيا بعكس الوادى النهرى الذى يظهر مقطعه العرضى على شكل حرف V عند منابعه العليا وويتحول لشكل حرف U فى أجزاءه الدنيا (صورتا ٧-٧ ، ٧-٨) .

٣- تمـــتد الثلاجات على شكل مجار مستقيمة تكاد تخلو من المنعطفات و الثنيات لأن الجليد المـــتحرك ليســـت له المرونة الكافية للاستجابة للانثناء والانعطاف، ولذلك تبدو المجارى النهرية التى تتفق مساراتها مع ثلاجات قديمة بصورة خالية من المنعطفات النهرية .

٤- تتكون على سطح الثلاجة مجموعات من الشقوق العميقة المتشابكة وهى تنقسم إلى ثلاثة أنواع هى :

(أ) شقوق عرضية Transverse Crevasses تمتد بصورة متعامدة على اتجـاه الوادى الجليدى ، وتتكون بسبب تحرك الجليد فوق أجزاء وعرة أو شديدة الإنحدار من سطح الأرض .

(ب) شـقوق طولـية Longitudinal Crevasses وهى تمتد موازية لاتجـاه الـوادى الجليدى ، وتتكون بسبب اختلاف سرعة تحرك الجليد ، فعـادة مـا يكون أسرع فى منتصف المجرى وبطيئاً على هوامشه بسبب الاحتكاك بمنحدراته الجانبية .

(ج) شقوق حدية أو هامشية Marginal Crevasses وهى تتكون عند مقدمـة الـوادى الجليدى بسبب إصطدام كتلة الجليد المتحركة بالعوائق التضاريسية التى تعترض تقدمه نحو منحدراته الدنيا .

ومـا يهمنا من وجهة النظر الجيومورفولوجية هو دور الشقوق المحفورة فى سـطح الـثلاجة الجلـيدية فى المسـاهمة فى تشـكيل بعض الظاهرات الجيومورفولوجـية، فالشقوق المحفورة فى جسم الثلاجة لها أهميتها فى نقل المـواد الرسوبية ووصولها لسطح الأرض أسفل الثلاجة ، وبخاصة الشقوق الطولـية المتاخمة لجوانب الثلاجة ، التى تسهم فى نقل المواد الرسوبية إلى سـطح الأرض أسفل جسم الثلاجة ، فتكون بمثابة مصايد يتجمع فيها ما يسـقط على جسم الثلاجة من فتات صخرى ، كما أنها تتعرض لحرارة الشـمس أثـناء فترات سطوح الشمس ، وتتأثر أيضا باختلاف الظروف الجوية مما يساعد على توسيع هذه الشقوق وذوبان قسم من الجليد .



صورة (٧-٧) مقطع عرضى على شكل حرف U لنهر "شوكا Soca " فى سلوفنيا ذو النشأة الجليدية فى عصر البلايستوسين (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٣)



صورة (٧-٨) مقطع عرضى فى واد جليدى النشأة
(After Carol Harden in: Slattery,2004)

٥- تتصـــل روافد الثلاجات بمجاريها الرئيسية من مناسيب مرتفعة يطلق عليها اسم الأودية الجليدية المُعلقة Hanging Glaciers . قد تتكون على القمم الجبلية الشاهقة فى المناطق الـــبادرة مجموعـــة من الحلبات الجليدية متعددة الاتجاهات ، بحيث تشكل كل حلبة منها أحـــد المنابع العليا لواد جليدى ، وتعمل كل حلبة منها على نحت القمة الجبلية ويطلق على الجزء الهرمى المتبقى منها اسم " قمة جبلية هرميـــة أو قرنيـــة Glacial Horn" (شكل).

٦- يمكـــن الـــتعرف على المناطق التى كانت مغطاة بالجليد عن طريق عدة ظاهرات أولاها **الحـــذوذ والثلوم الطولية** التى تنتج عن احتكاك المواد الملتصقة بقاع الجليد عند تحركها عـــلى سطح الأرض ، والظاهرة الثانية هى **الصخور الغنمية** (أظهر الخراف) التى ينجح الجلـــيد المتحرك فى صقلها وتسويتها بالاحتكاك، أما الظاهرة الثالثة فهى **الكتل الضالة** Erratic Blocks التى يقوم الجليد بإقتلاعها ونقلها ثم يرسبها فى مكان آخر يندر وجود تكوينها الجيولوجى حينما ترتفع درجة الحرارة لدرجة كافية بذوبان الجليد.

رابعاً : أشكال النحت الجليدى:

هـــناك العديـــد من الظاهرات الجيومورفولوجية تدل على مقدرة الجليد على النحت والـــتعديل فى المظهـــر الجيومورفولوجي السابق لتكون الجليد ، والأودية النهرية تعد من أكثر الظاهـــرات التى تعرضت للتعديل الجليدى على سطح الأرض فى المناطق المحيطة بالغطاء الجليدى بســـبب إنسياب ألسنة جليدية من هذا الغطاء أتبعت مجارى الأنهار. ولا شك أن عملية التعديل فى الظاهـــرات الجيومورفولوجية فى الوادى النهرى وما ينشأ عنها من ظاهرات تختلف من واد نهرى إلى آخر، بل على أجزاء الوادى النهرى الواحد، ومعنى ذلك أن الظاهرات الجليدية المعدلة تـــتوقف عـــلى عاملين أساسيين أولهما نوع الصخور الذى تمكن الوادى النهرى من شق مجراه خلالهـــا ، وثانيهما يتمثل في المرحلة التي قطعها الوادى النهرى من دورته التحاتية، فالوادى النهرى الذى وصل إلى مرحلة النضج مثلا سوف يتأثر ولا شك بفعل الجليد بدرجة تختلف عن

تأثـــر الـــوادى النهرى الذى مازال فى مرحلة الشباب ، وكذلك بالنسبة للوادى النهرى الذى وصل إلى مرحلة الشيخوخة (صورة ٧-٩) .



صورة (٧-٩) آثار الاحتكاك بالجليد على أحد جوانب قمة جبل Ortles (٣٣٨٦ متر) فى محمية Stelvio فى شمال إيطاليا (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٤)

وتتطلـــب دراسة هذه التعديلات فهماً دقيقا للتاريخ الجيومورفولوجي للوادي النهرى قـــبل تأثره بالتعرية الجليدية، وهى مهمة تتطلب دراسة جادة للعمليات الجيومورفولوجية الراهنة والسابقة على السواء ، ومحاولة الكشف عن ملامح سطح الأرض القديمة قبل أن يغطيها الجليد.

وتظهر على أرضية وجوانب الوادى الجليدى مجموعة من ظاهرات النحت تظهر من منابعه العليا وحتى المصب أهمها ما يلى (صورة ٧-١٠):



صورة (٧-١٠) حذوذ االصقل والاحتكاك بالجليد تظهر على قاع إحدى الثلاجات
(After Allan James in: Slattery, 2004)

١- الحلبات الجليدية Cirques

٢- السيف الجبلى Arete أو Serrete :

٣- القمم الهرمية Matherhorns

٤- الهوة الجليدية Bergschrund- الهوة الهامشية Randkluft

٥- العتبات الصخرية Rock Steps

٦- الصخور الغنمية (ظهور الخراف) Roches Mouttonnes

٧- مقدمات أراضى ما بين الأودية المشطوفة Truncated Spurs

٨- الأودية المُعلقة Hanging Valleys

٩- المعابر الجليدية لأراضى ما بين الأودية Preached Watershed

١٠- الكتل الضالة Erratic Blocks

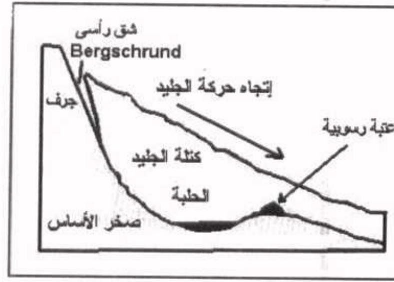
١١-الفيوردات Fiords و الفياردات Fiards.

١٢-برك الغطس الجليدية Shaft Holes - الحفر الوعائية الجليديةGlacial Potholes

وفيما يلى خصائص أهم أشكال النحت الجليدى:

١- الحلبات الجليدية Cirques :

مصـــطلح فرنسى يطلق على تجاويف مقوسة الشكل يقوم الجليد بنحتها على السفوح المحمـــية من الإشعاع الشمسى ، تحيط بها جروف مرتفعة من ثلاثة جوانب ، أما الجانب الرابع فهو يتميز ببطئ إنحداره مما يسمح بإنسياب وتحرك الجليد من خلاله نحو مصب الوادى الجليدى . وتنشـــأ الحلبة فى بداية الأمر بسبب تجمع الثلج Ice داخل حفر أو نتوءات صغير تتكون على الســـفوح الجبلية العالية ، حيث يساعد فعل الصقيع Frost Action فى زيادة تعميق وتوسيع هـــذه الحفر، مما يؤدى إلى تراكم وتجمع المزيد من الثلج المتساقط ، وبالتالى يزداد سمك الثلج ، ويتضاغط تدريجياً فيقل سمكه ليستوعب كميات أكبر من الثلج ، الذى يتحول إلى نوع آخر من الجلـــيد يطلـــق علـــيه جليد فيرن Firn ، وهو يتسم بسمات تميزه عن الجليد العادى ، نظراً لتضـــاغط مكوناته ، فكل ثمانية أمتار من الجليد العادى تتضاغط لتكون متراً واحداً من جليد "فيرن" ، ولذلك فإن طبقاته السفلى تصبح لدنة بسبب تعرضها لقوة الضغط الشديدة ، وتعتبر ظاهـــرة الحلبات الجليدية من أوضح الظاهرات الجيومورفولوجية الناتجة عن نحت الجليد ، فهى تتكون بسبب تجمع وتراكم الجليد داخل هذه النتوءات ويزداد سمكه عاماً بعد آخر ، مما يؤدى إلى إنزلاقه لإسفل على المنحدرات الواقعة أسفل الحلبة بتأثير الجاذبية الأرضية فى صورة ألسنة جلـــيدية ، وعـــندما يترلق الجليد يبدأ ينحت رأسيا فى صخور هذه المنحدرات (شكل ٧-٢ وصورتا ٧-١١ و ٧-١٢) .



شكل (٧-٢) بعض الأشكال الجيومورفولوجية المرتبطة بالحلبة الجليدية



صورة (٧-١١) حلبة جليدية بدأت فى التكون على أحد جوانب قمة جبل Ortles (٣٣٨٦ متر) فى محمية Stelvio فى شمال إيطاليا (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٤)

وتـــتعرض الحلـــبات الجليدية للنمو والتطور بمرور الزمن فهى تتفق فى ذلك مع جميع الظاهرات الجيومورفولوجية الأخرى ، فهى تبدأ شابة فتية قليلة العمق ومحودة الاتساع ، ولكنها تقوم بالتعميق الرأسي التوسيع الجانبي ، وهى تنشأ نتيجة إنسياب وتحرك ألسنة جليدية من حقل جليدي على منحدرات شديدة ، ومع استمرار عملية النحت تنمو الحلبة الجليدية رأسياً وأفقياً، فتتسع وتتعمق باستمرار ، وذلك مع إنصهار الجليد فى فصل الصيف تتكون بحيرة أو بركة مائية داخـــل الحلبة ، كما تظهر على نطاق الاتصال بين الحقل الجليدي وسفح المنحدر الجبلى عتبة مـــنحدرة تشـــبه نقط التجديد على مجارى الأنهار أو مساقط المياه، وتتراجع النقطة خلفياً هى الأخـــرى بسبب شدة نحت وإحتكاك الجليد بسطح المنحدر ، كما أن نمو الحلبة الجليدية لا يقتصـــر عـــلى نحـــت وتعميق المنحدر الجبلى ، ولكن تتعرض حوائط الحلبة الجانبية للنحت والتوسيع بإتجاه المنابع العليا على حساب تقويض القمم الجبلية وتحويلها إلى قمم هرمية Horns بصـــورة تشـــبه الـــتراجع الخلفـــى أو الـــتقويض الينبوعى للأنهار بواسطة النحت التراجعى Headward Erosion للروافد العليا من الرتبة الأولى .



صورة (٧-١٢) مجموعة حلبات جليدية تنكشف بعد ذوبان الجليد
(After Richard Kesel in: Slattery, 2003)

٢- السيف الجبلى Arete أو Serrete :

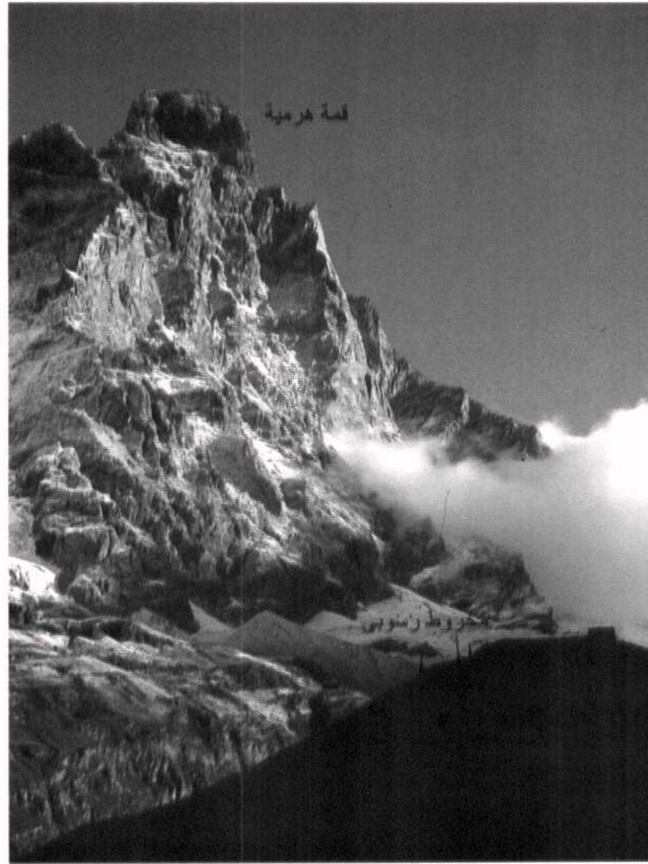
يعــد السيف الجبلى Arete أو Serrete إحدى الظاهرات الجيومورفولوجية الثانوية الــتى تنشــأ بصورة ملازمة لتطور الحلبات الجليدية ، وهو عبارة عن حافة تمثل بقايا الأراضى الفاصلة بين الأودية الجليدية ، أى أنها تشبه أراضى ما بين الأودية فى التعرية النهرية، وتمتد هذه الحافات السيفية بصورة مستقيمة ، ويشتد إنحدار جانبيها ، وهى تفصل بين الثلاجات المتجاورة سواء عند منابعها العليا قرب الحلبات أو عند أجزاءها الدنيا الهينة الإنحدار .

٣- القمم الهرمية Horns- Matherhorns :

تمثل القمم الهرمية Matherhorns ظاهرات متبقية عن عملية نحت الحلبات الجليدية على ســفوح المــنحدرات ، وتظهــر هذه القمم شامخة ومدببة الشكل وتتسم منحدراتها بالوعورة والتضرس وتظهر عليها الخدوش والثلوم الناتجة عن إحتكاك الجليد المتحرك بسطوحها ، وعادة مــا تظهــر كجــزر جبلية وسط بحر هائل من الجليد، وتشبه إلى حد ما ظاهرة تعرف باسم Nunatacks تشبه الجزر الجبلية وسط بحار من الجليد، وتتعرض هذه القمم للتخفيض المستمر المصاحب لنحت الحلبات المحفورة فى سفوحها المتقابلة (شكل ٧-٣ وصورة ٧-١٣).



شكل (٧-٣) تكوين القمة الهرمية



صورة (٧-١٣) قمة هرمية لجبل Cervino على منسوب ٤٤٧٨ متر عند المنابع العليا لوادى Marmore أحد روافد وادى آوسطا شمال غرب إيطاليا – لاحظ تكوين مجموعة من الحلبات على سفوح الجبل وتجمع مخروطات رسوبية من نواتج إنصهار الجليد تحت أقدام منحدرات الجبل
(تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)

٤ – الهوة الجليدية Bergschrunds – الهوة الهامشية Randkluft :

أصـــل مصـــطلح "بيرجشروند"Bergschrunds باللغة الألمانية يطلق على شقوق طولية عمـــيقة يفصـــل كـــل منها بين حقل الجليد والحوائط الجليدية التى تغطى القمم الجبلية المحيطة بالحلـــبات ، وهـــى تختلف عن ظاهرة أخرى يطلق عليها اسم : الهوة الهامشية Randkluft وهـــى عـــبارة عـــن مصطلح ألمانى آخر يطلق على حفرة طولية عميقة تفصل بين جليد الحلبة وحوائطها الجانبية ، ويغطيها عادة معبر أو جسر رقيق من الجليد ، وهى تنشأ عن عاملين أولهما هـــو قـــوة شـــد كتلة الجليد لأسفل بالجاذبية الأرضية ، مما يساعد على إنفصالها عن الجروف الجانبية للحلبة، أما العامل الثانى فهو دفئ الحوائط الصخرية للحلبة بصورة نسبية عن الجليد مما يســـاعد على ذوبان أو إنصهار جزء من الجليد وتكوين هذه الهوة السحقة ، والظاهرتين تمثلا عائقاً يواجه متسلقى الحافات الجبلية فى النطاقات الجليدية (صورة ٧-١٤) .



صورة (٧-١٤) حفرة طولية (هوة هامشية Randkluft) تفصل بين القسم العلوى من حلبة والحافة الصخرية المتاخمة لها ناتجة عن قوة شد جسم الثلاجة بالجاذبية الأرضية فى أحد أودية جبال الألب الإيطالية (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٤)

٥- العتبات الصخرية : Rock Steps:

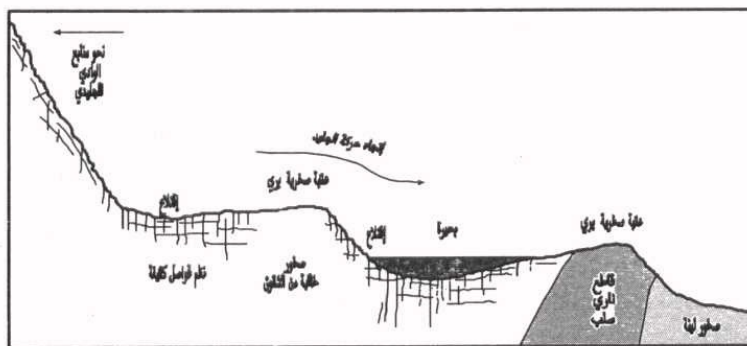
تظهر العتبات الصخرية على شكل نقاط تغير فى الإنحدار الطولى لقاع الثلاجة ، وقد يبلغ التعميق الرأسى لبعض أجزاء هذه العتبات لمنسوب منخفض جداً يتجاوز مستوى القاعدة المحلى للوادى الجليدى ذاته ، ولذلك فالعتبات الصخرية تعد من الظاهرات التى يمكن الاستدلال بها على تأثر الوادى النهرى بفعل الجليد ، فالمجرى المائى لا يستطيع بأي حال من الأحوال أن ينحت أجزاءه العليا راسياً لمنسوب أقل من مستوى القاعدة Base Level مهما كان ضعف الصخر الذى يجرى عليه. ومن ملامح الاختلاف بين مورفولوجية الوادى النهرى والوادى الجليدى أن الوادى الجليدى لا يترتبط بنظام معين لمستوى القاعدة مثل الأودية النهرية التى تعمل لبلوغ هذه المستوى ، فكل نطاق من الوادى الجليدى يتأثر بالظروف الطبيعية للمنطقة التى يزحف عليها ، ووتتحكم فى معدل حركته مجموعة من الضوابط أهمها ما يلى:

(أ) قوة شد الجليد لأسفل بتأثير الجاذبية الأرضية وسمك الجليد وثقله.

(ب) درجة إنحدار سطح الأرض ومدى وعورته.

(ج) مدى صلابة صخور سطح الأرض وبنيتها الجيولوجية .

ولذلك يرتبط ظهور العتبات بالأجزاء الصلبة من سطح الأرض التى لم يتمكن الجليد من تسويتها بالكشط أو بالاقتلاع ، كما ترتبط بالقواطع الصخرية Dycks ، والانكسارات Faults ، وتفصل بين مجموع العتبات المتعاقبة على قاع الثلاجة نطاقات هينة الإنحدار ترتبط بالصخور الأقل مقاومة لفعل النحت والاحتكاك بالجليد المتحرك ، ويشتد إنحدار الأجزاء الصخرية الصلبة بخلاف الأجزاء اللينة التى تبدو هينة الإنحدار ، كما تحزز سطوح هذه العتبات مجموعات من الخدوش الجليدية Striation والثلوم والشقوق الطولية المتوازية الناتجة عن إحتكاك الجليد الزاحف على منحدرات سطح الأرض (شكل ٧-٤ وصورة ٧-١٥).



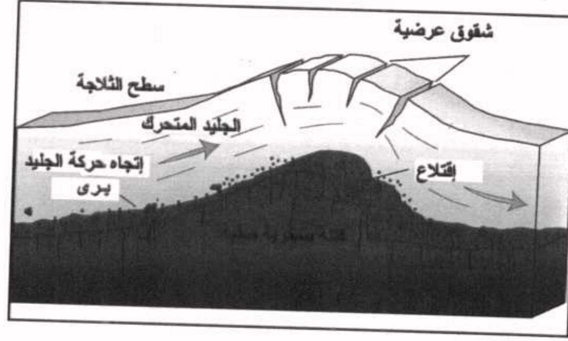
شكل (٧-٤) تكوين عتبات صخرية تعترض وادى جليدى إحداها ناتجة عن قاطع نارى صلب وأخرى عن برى صخور صلبة غير مقطعة بنظم الفواصل (After: Small,1989)



صورة (٧-١٥) عتبة جليدية تظهر بعد ذوبان الجليد فى أحد روافد وادى "ترافوى Trafoi" على منسوب ٢٢٥٤متر فى محمية Stelvio بشمال إيطاليا – لاحظ تناثر حصوات حادة الأطراف ناتجة عن إحتكاك الجليد بسطح الأرض (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٤)

٦- الصخور الغنمية (ظهور الخراف) Roche Moutonnee :

عـــبارة عـــن كـــتل صـــخرية بارزة على قاع الثلاجة لم يتمكن الجليد من تسويتها بالاحـــتكاك أو الاقـــتلاع ، يتشـــابه مظهرها المورفولوجى العام مع "الأغنام" ، فهى تتميز بإخـــتلاف درجة إنحدار جانبيها المتقابلين ، ويرتبط تكوينها بالأجزاء الصخرية الأكثر صلابة ، ولذلـــك فهـــى تشـــبه العتـــبات الصخرية فى أنهما من الظاهرات التى تدل على تباين مقاومة الصـــخر لعوامل التعرية وإختلافه من منطقة إلى أخرى ، وتظهر على جوانبها سواء الصلبة أو اللينة آثار النحت الجليدى مثل الخدوش والثلوم التى نستدل منها على إتجاه حركة الجليد ، كما يشـــير الإنحـــدار الـــبطيء الأملـــس لســـطح تلك الكتل الصخرية إلى الجهة التى قدم منها الجلـــيد، بيـــنما نلاحـــظ أن الإنحدار الشديد يشير دائما إلى الجهة التى يزحف نحوها الجليد (شكل ٧-٥).



شكل (٧-٥) مقطع طولى مجسم يوضح الخصائص المورفولوجية لظهور الخراف

٧- مقدمات أراضى ما بين الأودية المشطوفة: Truncated Spurs :

تعتـــبر هـــذه الظاهرة إحدى أشكال التعرية النهرية المتأثرة بفعل الجليد ، فهى تتكون بتأثير زحف الجليد فوق أراضى ما بين الأودية Interlocking Spurs ، وهى تتميز بمجموعة من الخصائص المورفولوجية أهمها ما يلى:

(أ) شدة إنحدار سطح الأرض بوجه عام.

(ب) تخدد سطح الأرض بالخدوش والثلوم بتأثير زحف وكشط الجليد .

(ج) تـــبدو مقدمة أراضى ما بين الأودية مكشوطة أو مشطوفة لعدم استكمال القوس الذي يحدد هذه المقدمة.

(د) إنتشار بقايا الرواسب الجليدية الحادة الأطراف Moratnes فوق سطح الأرض بتأثير إحتكاك الجليد وكشطه للصخور وإقتلاع بعض الكتل الصخرية ونثرها فوق السطح.

ولكـــن يجـــب أن نـــتوخى الحذر عند تمييز هذه الظاهرة ميدانياً فليست كل أرض مشطوفة يشاهدها المرء على جانبى واد نهرى يمكن تفسير نشأتها بفعل النحت الجليدى ، فربما تحـــدث مثل هذه الظاهرة نتيجة تأثر نطاقات أراضى ما بين الأودية بحدوث الانكسارات ، التى قـــد تـــؤدى إلى هـــبوط جانب من مقدمة أراضى ما بين الأودية ، بينما يظهر الجانب الآخر مشطوفا ، وفى هذه الحالة فإن وخط الشطف يمثل سطح انكسار.

ومن المؤكد أن هناك العديد من الأدلة الجيومورفولوجية التى يمكن استخدامها للتدليل عـــلى تأثـــر الأودية النهرية بفعل التعرية الجليدية ، خاصة إذا ما كانت عملية الزحف الجليدى حديثة ، فهناك بقايا للارسابات الجليدية الحادة الأطراف الغير مصنفة Moratnes ، بالإضافة إلى إنتشار الخدوش الجليدية المحفورة على منحدرات جوانب الأودية النهرية.

٨- الأودية المُعلقة: Hanging Valleys :

لا يقتصر وجود الأودية المعلقة على المناطق الجليدية وحدها ، فهى تتمثل أيضا حينما تشـــق الأوديـــة الرئيسية مجاريها فى مناطق ضعف جيولوجى بينما تحاول روافدها شق مجاريها بصـــعوبة فى تكوينات أكثر صلابة ، كما تتكون الأودية المعلقة فى الأودية الانكسارية النشأة ،

وتقطع الجروف البحرية القديمة التى انحسر البحر عنها نتيجة إنخفاض منسوبه ، ولكن لم تتمكن هــذه الأودية من الاستمرار فى عملية التعميق الرأسى للوصول لمستوى القاعدة الجديد بسبب التغيرات المناخية وسيادة ظروف الجفاف ، ومن أبرزها مجموعة الأودية المعلقة لحافاتت جنوب بريطانـــيا التى تطل على بحر الشمال . أما فى المناطق الجليدية فهى تنشأ على جوانب الأودية النهرية نتيجة تأثر الأودية الرئيسية بفعل النحت الجليدى، الذى يعمل على زيارة التعميق الرأسى للأوديـــة الرئيســـية ، ويقصد هنا بالأودية الرئيسية تلك الأودية التى تنصرف إليها مجموعة من الروافد العليا (صورة ٧-١٦) .



صورة (٧-١٦) وادى مُعلق عند المنابع العليا لوادى Schnals شمال قرية Kurzras على منسوب ٢٨٥٠ متر شمال إيطاليا ينساب منه مجرى مائى نتيجة ذوبان الجليد فى فصل الصيف (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٤)

٩- المعابر الجليدية لأراضى ما بين الأودية Preached Watershed :

تعتـــبر هذه الظاهرة إحدى الأشكال المميزة لفعل النحت الجليدى ، وتنشأ عن عملية زحـــف الجليد وعبوره لأراضى ما بين الأودية حتى يصل لواد نهرى متاخم له وتراكم الجليد داخله .

وتحـــدث هـــذه العملـــية بسبب ضيق بعض أجزاء الوادى الجليدى لدرجة لا تسمح باستمرار تدفق الجليد بسلاسة ، مما يدفعه لعبور أراضى مابين الأودية لتصريف الجليد الذى ينوء بحملـــه ، حيث تبدأ هذه العملية فى إرتفاع مستوى الجليد تدريجيا فى المنطقة الضيقة من الوادى الـــتى تمثل عنق الزجاجة وتمتد منه ألسنة جليدية ، ومع استمرار هذا الإرتفاع تمتد هذه الألسنة إمتداداً كبيراً حتى تصل إلى منابع الروافد عابرة خط تقسيم المياه بينها وبين الروافد التى تنصرف على الجانب الآخر من المقسم المائى ، ولكن عندما ترتفع الحرارة وينصهر الجليد تظهر المنطقة الـــتى كانـــت معبراً له في صورة خانق يحمل كل صفات الوادى الجليدى من جروف تقطعها الخـــدوش الجليدية وقد تتناثر على السطح بعض أشكال النحت الجليدى الأخرى مثل الصخور الغنمية (ظهور الخراف) والكتل الضالة والأسطح المكشوطة .

١٠- الكتل الضالة Erratic Blocks:

يقوم الجليد الزاحف بإقتلاع الكتل الصخرية التى تعترض طريقه ، كما يقوم بكشط ونحت الكـــتل الصـــخرية التى لا يستطيع إقتلاعها ويقوم بتحويلها إلى كتل بيضاوية الشكل تخددها الخدوش الغائرة يطلق عليها اسم الصخور الغنمية كما سبق أن أوضحنا فى الصفحات السابقة، ولكـــن قـــد تنتشر على قيعان الثلاجات كتل صخرية تختلف فى تركيبها الجيولوجى عن طبيعة تكوين المنطقة التى تتواجد فيها ، يـــُطلق عليها اسم الكتل الضالة ، تشير إلى قدرة الجليد على نقـــلها مـــن المنابع العليا ثلاجة ونقلها على سطح كتل الجليد الزاحف ، وإعادة ترسيبها عند إنصهار الجليد ، تفيد دراسة هذه الظاهرة فى قياس قدرة الثلاجة على الاقتلاع والنقل الجليدى (صورة ٧-١٧) .



صورة (٧-١٧) كتلة ضالة متبقية عن النقل الجليدى ثم تفككت بالتجوية العضوية الناجمة عن نمو جذور شجرة داخل الفواصل الصخرية فى وادى " شوكا Soca" (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٣)

١١- الفيوردات Fiords و الفياردات Fiards:

أصل مصطلح Fiords نرويجى ويطلق على مصبات الأودية الجليدية الغارقة ، وهى من الظاهــرات المركــبة النشــأة بمعــنى أنها تسهم فى تكوينها عوامل كثيرة سواء أكانت عوامل جيولوجــية أو عوامل تعرية، وهى عبارة عن ذراعمائى يتوغل داخل اليابس ، تحيط به جروف شــبه حائطــية مــرتفعة مُقطعة بالعديد من الاودية المُعلقة القديمة النشأة ، فالموقع الساحلى للفيوردات أشترك البحر فى تكوينها ، كما تسهم الأنهار أيضاً فى تشكيلها ، لكن لا يطلق على هــذه الظاهــرة اسم "الفيورد" إلا إذا أشترك الجليد مع هذه العوامل فى نشأتها ، فهناك مناطق ساحلية تتصف بوجود الخلجان التى تشبه الفيوردات فى مناطق ساحلية كثيرة فى العالم، ولكن لا يطلــق عليها مصطلح "الفيورد" ما لم توجد آثار فعل الجليد نحتا وارسابا، ومن هنا يتبين لنا اهمية هذه الظاهرة بالنسبة لفعل الجليد كعامل نحت ومن هنا أيضاً لا نستطيع أن نعرف الفيورد بأنــه ذراع بحرى متوغل فى أرض ساحلية ، إذ يتميز الفيورد بخصائص تنشأ فى معظمها بفعل الجليد، ومن أهم هذه الخصائص مايلى (صورة ٧-١٨) :

١- تظهـــر جوانب الفيورد شبه قائمة شديدة الإنحدار لأنها كانت تشكل أجزاء دنيا من أودية قديمة ، لازالت تبدو عليها آثار الخدوش الجليدية.

٢- يتمـــيز الفيورد بعمق قاعه وخاصة عند اجزاءه الداخلية نتيجة اصطدام الكتل الجليدية المنفصلة عن الثلاجة بالتالى وخاصة خلال الفترات الباردة من عصر البلايستوسين .

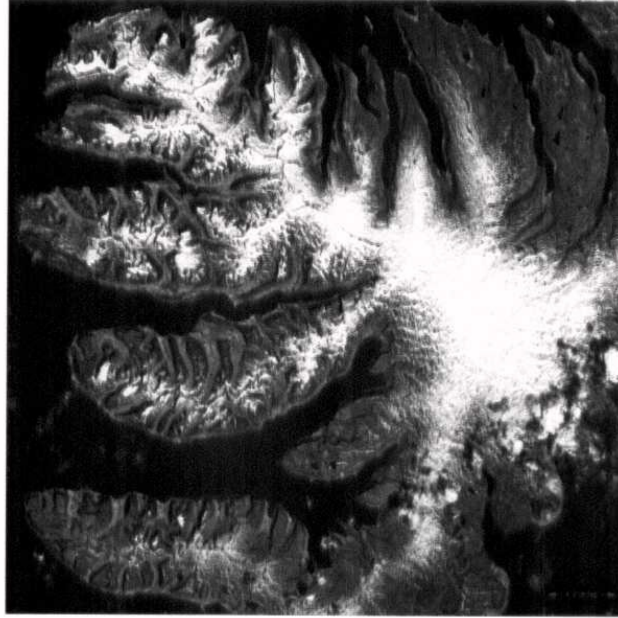
٣- يـــبدو القطـــاع العرضى للفيورد على شكل حرفU نتيجة احتكاك الجليد المتحرك بجوانبه الحائطية وتقطعه أعداد من الأودية المُعلقة المرتفعة المنسوب .

٤- ترتـــبط الفـــيوردات بالســـواحل الغربية للقارات فى نصف الكرة الارضية الشمالى والســـواحل الشرقية فى نصفها الجنوبى ، بسبب انصهار الكتل الجليدية وانفصالها عن جســـم الـــثلاجة عند تلامسها بالتيارات البحرية الدفيئة المارة أمام سواحلها، ولذلك تنتشر الفيوردات على السواحل الغربية للنرويج وأسكوتلندا وجزيرة جرينلاند وأمريكا الشمالية ، وعلى السواحل الشرقية لنيوزيلندا وأمريكا الجنوبية .

٥- تغطى مخارج الفيوردات حواجز أو عتبات مغمورة مكونة من الإرسابات الجليدية التى تعـــوق عمليات الملاحة البحرية ، ومن هنا تظهر اهمية إطلاق كلمة فيورد لأنها تعنى للملاح خصائص مميزة لهذا اللسان البحري، فكلمة فيورد تعنى تراكم الواسب الجليدية فى تلك المنطقة.

٦- تعـــد ظاهرة الركامات النهائية End Moraines أخطر ظاهرات الرواسب الجليدية لـــلملاحة الـــبحرية فى الفيوردات ، وهى تبدو على شكل أقواس من الرواسب تحيط بمداخل الفيوردات وتظهر كأرض مغمورة تحت مستوى سطح البحر مرتفعة على قاع الفيورد وتغمرها مياهه، ويدل عدد هذه الأقواس على فترات الاستقـــرار فى تراجـــع

الجلـــيد. وهـــذه الـــركامات المغمـــورة تؤدى إلى اختلاف أعماق المياه فى مداخل الفـــيوردات فـــتكون ضحلة فوق هذه الحواجز الركامية واكثر عمقا في الارض التي تفصـــلها، وهنا تظهر خطورتها على غاطس السفينة، فاذا كان الغاطس أكبر من عمق المـــياه فوق هذه الحواجز ظهرت هذه الخطورة ، وعليه فان الدراسة الجيومورفولوجية للفيوردات لها اهميتها بالنسبة لملاحة البحرية، على الرغم أن هذه الفيوردات يمكن ان تكون مرافئ طبيعية تنشأ فيها الموانى ، الا ان قاع الفيورد لابد من دراسته حتى يمكن عمل ممرات تسلكها السفن بوضع علامات خطر في تلك المناطق التي توجد بها أقواس الركامات النهائية المغمورة.



صورة (٧-١٨) مرئية فضائية لمجموعة فيوردات شمال غرب جزيرة أيسلندا

١٢ - برك الغطس الجليدية Shaft Holes :

تعتـــبر ظاهـــرة برك الغطس الجليدية من أندر الأشكال الأرضية فى المناطق الجليدية ، وهى تتكون بتأثير إندفاع المياه الناتجة عن إنصهار الجليد من القمم الجبلية الشاهقة وإرتطامها بسطح الأرض ، مما يؤدى إلى تكوين حفر دائرية عميقة ، تتراوح ؟أعماقها بين بضعة أمتار وأكثر من ألـــف مـــتر ، وتصل أقطارها إلى عشرات الأمتار ، تبعا لمدى صلابة سطح الأرض من ناحية وإرتفـــاع مصدر المياه المندفعة من ناحية أخرى ، وقد ميز المؤلف هذه الظاهرة فى جبال الألب السلوفانية ، وخاصة فى وادى "سافينجا Savinja valley" و منطقة جبال " كانين Kanin" Mountains التى توجد بها حفرة يصل عمقها لنحو ١٥٣٠ متر (صورة ٧-١٩) .



صورة (٧-١٩) حفرة يصل عمقها لحوالى ٣٠ متر بقطر يبلغ نحو ١٥ متر ناتجة عن تساقط مياه الجليد المنصهر من أحد الأودية المعلقة على إرتفاع ٤٠ متر من سطح الأرض فى منطقة Savinja valley فى سلوفنيا (مصدر الصورة والبيانات : www.logarska-dolina.si)

<u>خامساً : أشكال الإرساب الجليدى:</u>

يتشـــابه الجلـــيد مع جميع عوامل التعرية المتحركة على سطح الارض فى قدرتها على الحركة ونقل الرواسب ، ولكن مقدرة الجليد على الحمل تتلاشى عند ذوبانه وتحوله من الحالة الصلبة للحالة السائلة فيرسب المواد التى يحملها الجليد فى رحلته من منابع الوادى الجليدى لمصبه حينما ترتفع درجة حرارة الجو فيذوب الجليد ويتحول لمياه جارية ، كما تنجح بعض الثلاجات فى الوصول للسواحل البحرية عند الفيوردات ذات الجروف البحرية الشاهقة ، ومما لا شك فيه أن حـــركة الثلاجة الطرفية تعنى أن الأجزاء الأمامية من جانبى الثلاجة (أى فى الجزء الأدنى من الـــنهر الجليدى) تحمل من الفتات الصخرى أكثر مما تحمله الأجزاء الجانبية من مؤخرة النهرى

الجليدى، وذلك لأنه على طول المسافة التى قطعها الجليد منذ ان خرج من حقله الجليدى حتى وصـــله إلى مـــنطقة الثلج الدائم وهو يتسلم فى مقدمته رواسب او فتات صخرى من الأجزاء المكشـــوفة من جانبى الوادى النهرى ، وهناك العديد من الظاهرات الجيومورفولوجية تنتج عن الإرساب الجليدى ، ولكن يمكن تقسيمها إلى مجموعتين تختص الأولى منهما بظاهرات الإرساب الـــتى يقـــوم بها الجليد المتحرك ، وتتناول المجموعة الثانية ظاهرات الإرساب التى تنشأ عن الماء المنصهر من الجليد :

المجموعة الأولى : ظاهرات الإرساب بالجليد :

١- الركام الجانبى Lateral Moraine :

يتكون الركام الجانبى على السطح الجانبى للجليد المنقول فى الوادى الجليدى، وهو عبارة عـــن المـــواد المحـــواه المـــتراكمة من حواف الوادى ، حيث تتساقط هذه المواد على هذه المنحدرات قبل أن تستقر على سطح الجليد فيحملها معه نحو المصب ، وقد تنغمس بعض هـــذه المـــواد الرســـوبية داخل الشقوق المُحززة لسطح الجليد ، وتغوص داخل الجليد مع إرتفـــاع درجـــة الحـــرارة حتى تتراكم على سطح الأرض عند ذوبانه وتحوله لماء جارى (صورة ٧-٢٠).



صورة (٧-٢٠) تراكم حصوات بجواره على السطح الجانبي لإحدى ثلاجات محمية Stelvio شمال إيطاليا، وقد تكون هذه الحصوات ركاماً جانبياً بعد ذوبان الجليد

(تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٤)

٢- الركام الأوسط Medial Moraine :

يـــتكون الركام الأوسط عندما يلتحم رافد جليدى مع رافد جليدى آخر، فيلتحم نتيجة لذلـــك ركـــامين جانبيين، ليشكلا معاً ركاما أوسط يحتل النطاق المنـــصف للسطح العلوى للـــثلاجة ، وعدد خطوط الركامات الوسطى يعد دليلا على عدد الروافد التى إلتحمت أنهارها الجليدية مع بعضها لتكون فى النهاية النهر الجليدى الرئيسى .

٣- الركام الأرضى أو ركام القاع Ground Moraine :

يـــتكون هذا النوع من الركامات بتأثير إلتصاق الفتات الصخرى بقاع جسم الثلاجة أثـــناء عملـــية الـــزحف عـــلى سطح الأرض ، ولذلك يطلق عليه أحياناً اسم الركام الملتصق

Lodgement Till ، وقد يتكون هذا الركام أيضاً من المواد التي يتمكن الجليد من إقتلاعها أو كشطها من صخور السطح ، إلى جانب الكتل التي تغوص داخل الجليد وتتمكن من إجتياز سمـــك الكتلة الجليدية وتصل إلى قاع الثلاجة ، فيقوم بنقلها معه خلال رحلته من المنابع العليا الجبلية وحتى إنصهار الجليد فيرسبه على سطح الأرض على شكل تلال غير مُصنفة وغير طباقية، أى تخــتلط بها المواد الدقيقة مع الحصوات الخشنة بدون إنتظام أو فرز ، وهو يتكون عادة من خلــيط غــير متجانس من الأحجار والحصى والحصباء والرمال والصلصال . وتتميز المواد التي يــتألف منها الركام المنقول لمسافات قصيرة بخشونة مكوناته وزاويـــة (متعددة الزوايا) ، أما مواد الركامات المنقولة لمسافات طويلة تستدق مكوناتها وتصقل وتصبح أكثر استدارة ، وتتآكل زواياها بسبب الاحتكاك بعضها ببعض وبسطح الأرض (صورتا ٧- ٢١و٧-٢٢).



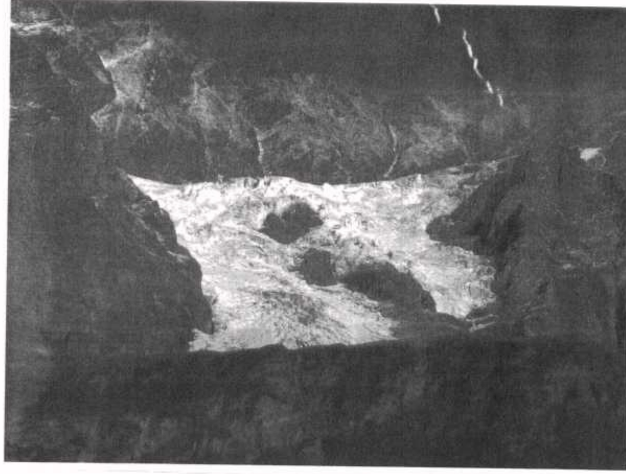
صورة (٧-٢١) مرئية فضائيةلأحد الأودية الجليدية تظهر عليه الركامات الجانبية والوسطى



صورة (٧-٢٢) بعض الحصوات الصخرية ملتصقة بأرضية ثلاجة زاحفة فى وادى "سشنالز Schnals " فى سلسلة جبال الألب بالقرب من الحدود الإيطالية / السويسرية (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٤)

٤- الركام النهائى والركام الأمامى End & Terminal Moraine :

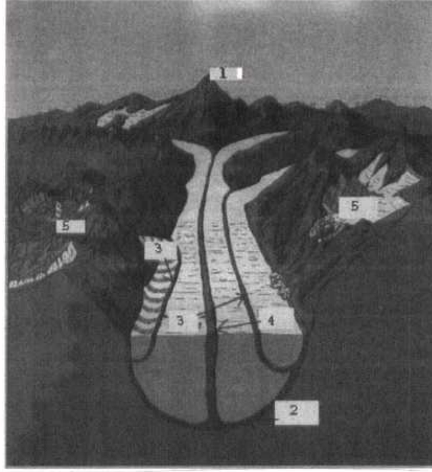
السـركامات الأمامـية والنهائية عبارة عن تلال هلالية مقوسة الشكل ترتبط بمقدمات الأوديـة الجلـيدية ، وهى تتكون حيثما يحدث إستقرار فى مقدمة النهر الجليدى ، ومعنى هذا الاستقرار أنه كلما تقدم الجليد أتى بحمولة جديدة إلى هذه المنطقة وترتفع درجة الحرارة لدرجة ينصهر عندها الجليد فيرسب نطاق مقوس من الرسوبيات الغير مصنفة يطلق عليها اسم الركام الأمـامى ، ويـتكرر تكون سياج من الركامات الأمامية فى بداية فصل الصيف ، وتحدد هذه الظاهرة أقصى إمتداد يصله خط الثلج الدائم قبل إنصهار الجليد وإنسيابه على سطح الأرض ، ولذلك فهى تعد مؤشراً مهما للباحثين لدراسة الدورات المناخية بصورة غير مباشرة ، ولكن إذا جـاء فصل الشتاء قارص لبرودة فإن معنى ذلك فإن الأودية الجليدية سوف تكتسح فى زحفها مجموعـة الركامات الأمامية التى كونتها خلال العام السابق ، وتعيد ترسيب ركامات أخرى ، تمـثل أقصى إمتداد لترسيب الثلاجة ، ويطلق على هذا النوع من الركامات اسم الركام النهائى (شكل ٧-٦ وصورتا ٧-٢٣و ٧-٢٤).



صورة (٧-٢٣) ركام أمامي مدفوع في مقدمة ثلاجة Marmore Valley أحد روافد وادى Aosta على الحدود الإيطالية الفرنسية (تصوير المؤلف فى سبتمبر ٢٠٠٣)



صورة (٧-٢٤) مقدمة ثلاجة ثانوية تدفع أمامها بعض الحصوات فى وادى " ترافوى Trafoi" بجبال الألب الإيطالية (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٤)



شكل (٧-٦) بعض الأشكال الجيومورفولوجية التي تظهر في الوادي الجليدي

١- قمة هرمية	٢-ركام القاع	٣-ركام جانبي	٤-ركام أوسط	٥- حلبة جليدية

٥- التلال الجليدية "الدرومولين" Drumeins:

الدرومولـــين مصطلح أيرلندى يعبلا عن الشكل المثالى للتلال الجليدية النشأة ، وتنتشر هذه التلال على طول الأودية الجليدية ، وهى تتألف من الركامات الأرضية أو السفلى ، وهى تمتد فى مجموعات متوازية وموازية لإتجاه حركة الجليد ، وهى عبارة عن تلال بيضاوية الشكل متطاولة المظهر ، يميل سطحها للمظهر القبابى ، وتتراوح إرتفاعاتها بين خمسة إلى عشرة أمتار ، وتتـــباين أطوالها بين نصف كيلومتر وثلاثة كيلومترات ، أما العرض فيصل إلى حوالى ٢٠٠- ٣٠٠ مـــتر فقط . وتنتشر فى وسط أوربا مجموعات من التلال الجليدية الحفرية أى أنها تكونت خـــلال الفـــترات الباردة من عصر البلايستوسين ، وهى تفيد الباحثين فى إعادة رسم الخرائط المناخـــية القديمة للإقليم وتتبع أقصى إمتداد للزحف الجليدى البلايستوسينى ، وكما تنتشر فى الســـهل الأوربى الشمالى فى ألمانيا وبولندا وبلجيكا وسويسرا ، كما تتوزع فى كندا والولايات المتحدة وخاصة غربى ولايتى نيويورك وويسكونسين .

المجموعة الثانية : ظاهرات تنشأ عن الإرساب بالمياه المنصهرة :

تنشأ هذه المجموعة من الظاهرات بتأثير الإرساب بالمياه المنصهرة ، ولذلك يطلق عليها اسم أشكال رسوبية فيضية / جليدية Fluvio- Glacial Deposition Features ، وتنتشر هذه المجموعـــة من الأشكال الأرضية على هوامش الجليد، وتتكون مصاحبة لإرتفاع درجة الحرارة الكافية لإنصهار الجليد وأهم هذه الظاهرات ما يلى:

١- الكام ومدرجات الكام Kame & Kame Terraces :

عبارة عن رواسب حصوية تمتد بصورة موازية لإتجاه حركة الجليد أو مــتقاطعة فى بعض الأحيان ، على شكل روابى طولية أو تلال أو مدرجات محــدودة الارتفاع وضيقة ، وقد تمتد بصورة متصلة لمسافات كبيرة ، وتشتد درجـــة إنحــدار وجهاتها المشرفة على الجليد لحوالى ٢٠ درجة ، بينما يقل إنحدار سفوحها الأمامية لأقل من عشرة درجات . وتنشأ هذه الظاهرة بتأثير إمتلاء الشقوق الأرضية بالرواسب التى ينقلها الجليد المنصهر ، وقد تبدو على شـــكل مخروطات رسوبية أو دالات مروحية تجمعت رواسبها المنقولة بالماء المنســاب عـــلى سطح الأرض ، وهى تتألف من رواسب ناعمة رملية أو صلصـــالية ، تتجمع داخل الحفر والنتوءات المنتشرة على نطاقات السهول، وتغطـــى روابى الكام أجزاء واسعة من سهول شمال أوربا وأمريكا الشمالية (جودة ، ١٩٩٥) .

٢-تلال الاسكر Esker :

مصـــطلح أيرلـــندى آخر وهو يعبر عن حواجز Ridges طولية ضيقة تـــتعرج أو تنثنى على شكل أفاعى منفردة ، أو متفرعة إلى فروع متعددة ، وهى تتألف من تراكم الرواسب الفيضية / الجليدية التى تنقلها المياه المنصهرة عن الجليد ، وتتراكم على السهول المنتشرة فى نطاقات هوامش الجليد وعلى

جوانب الأودية وسفوح منحدراتها الجانبية ، وتنقسم تلال الإسكر إلى أربعة أنواع متباينة فى خصائصها المورفولوجية هى (Goudie, 2004):

(أ) تلال ممتدة سواء بصورة منفردة أو متعددة.

(ب) قنوات مائية/ جليدية تتراكم داخلها الرواسب المنقولة بالجليد المنصهر عند إرتفاع درجة الحرارة.

(ج) حواجز رسوبية تملأ الأنفاق والكهوف الأرضية .

(د) مراوح رسوبية ودالات جليدية .

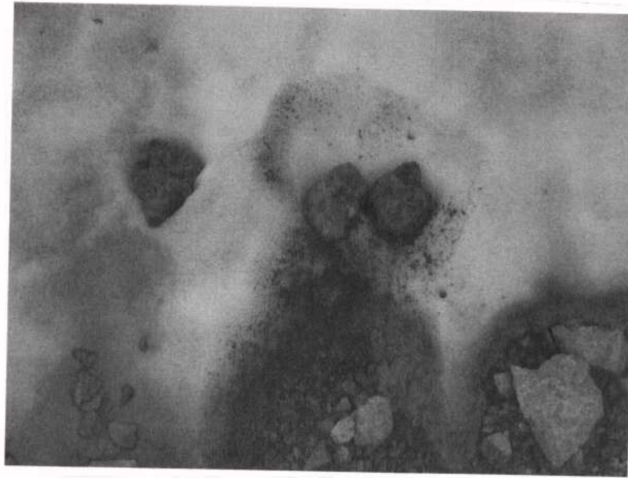
وتنتشر تلال الاسكر فى سهول أيرلندا وفنلندا وروسيا وبروسيا الشرقية والسويد وألمانيا وأسكتلندا (صورة ٧-٢٥).



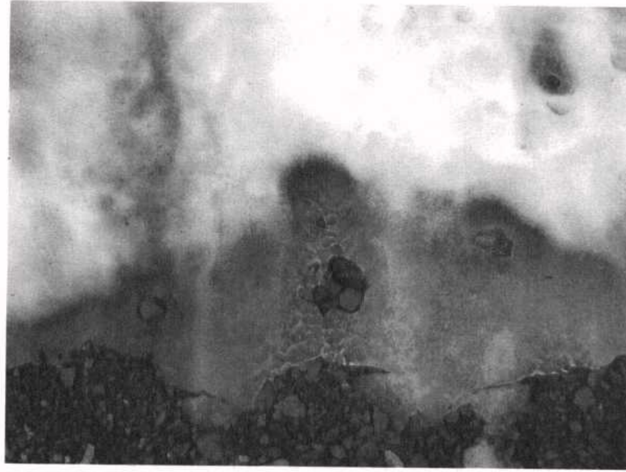
صورة (٧-٢٥) مراوح رسوبية ناتجة عن تراكم نواتج إنصهار الجليد على جوانب وادى" شوكا Soca" فى سلوفنيا (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٣)

٣-ســـهول الإرســـاب الرمـــلى (مراوح الغسل الجليدى) - Sander : Outwash Fans (Sandurs)

أصلح مصطلح Sander أيسلندى وهو يعبر عن سهول فسيحة تنتشـــر فى أقاليم هوامش الجليد التى تتجاوز نطاق الركامات النهائية ، وهـــى مغطاه بالرواسب والمفتتات الحصوية التى نقلها الماء المنصهر وهى تـــتألف عادة من الرمال والصلصال ، حيث تنساب المياه من الركامات النهائية حاملة معها كميات من الرواسب تتوقف على شدة إنحدار سطح الأرض ومـــدى تدفـــق المياه المنصهرة وقدرتها على حمل الفتات ، وهى تنتشر عند مصبات الأودية الجليدية فى شمال أوربا وخاصة أودية سويسرا التى أكتسحها الجليد البلايستوسينى ، وسهول أمريكا الشمالية وأيسلندا (صورتا ٧-٢٦ و٧-٢٧) .



صورة (٧-٢٦) حصوات وحبيبات تتراكم على مقدمة إحدى ثلاجات جبال الألب الإيطالية نتيجة ذوبان الجليد (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٤)



صورة (٧-٢٧) زيادة نشاط ذوبان الجليد عند المواضع التى تنطمر بها الحصوات المنقولة داخل جسم ثلاجة بالقرب من جبل " متسبيتز Mutspitze " على منسوب ٢١٦٠ متر بمنطقة "دروف تيرول Drof Tirol " بجبال الألب الإيطالية (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٤)

٤-برك وبحيرات الجليد Glacial lakes:

تتجمع بقايا المياه الناتجة عن إنصهار الجليد فى الحفر والمقعرات الصخرية فى مناطق السهول الساحلية المنتشرة على هوامش الجليد ، ولكنها سرعان ما تجف نتيجة تسرب المياه تحت سطح الأرض ، أو يعاد تجمدها مرة أخرى وفقاً لدرجة حرارة الجو ، وعادة ما تترسب على قيعان هذه البرك المواد الرسوبية الدقيقة التى تنجح فى الوصول مع المياه المنسابة على السطح ولا تترسب ضمن مكونات تلال الإسكر ومدرجات الكام أو سهول الغسل الجليدى ، وتنتشر فى شمال أوربا وخاصة فى سهول فنلندا آلاف من البحيرات والبرك المتبقية عن عصر البلايستوسين، وتتباين أشكالها من البحيرات الطولية أو الدائرية أو البضاوية ، حيث تملأ المياه الحفر والنتوءات المحفرة بتأثير إحتكاك الجليد البلايستوسينى أثناء إجتيازه هذه الأصقاع الأوربية (صورة ٧-٢٩).



صورة (٧-٢٨) بركة ناتجة عن تجمع المياه المنصهرة عند إلتقاء إحدى الروافد المُعلقة بالمجرى الرئيسى لوادى "ترافوى Trafoi " فى نطاق جبال الألب الإيطالية (تصوير المؤلف فى أغسطس ٢٠٠٤)

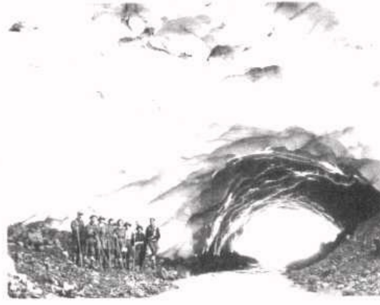
٥- الكهوف والجسور الجليدية Glacial Caves & Bridges :

تعــد الكهــوف والجسور الجليدية من الأشكال النادرة والبديعة الشكال فى مناطق التعرية الجليدية ، وهى عبارة عن تجاويف تنشأ داخل كتل الجليد نتيجة إنصهاره التدريجى داخل الجليد لأحد الأسباب الآتية :

(أ) تدفق أحد المجارى المائية ذات الحرارة المرتفعة .

(ب) إنسياب ينبوع حار أو مدخنة وتدفقه من جوف الأرض مما يساعد على سرعة إنصهار الجليد الداخلى .

(ج) إرتفــاع حــرارة سطح الأرض الناتج عن نشاط تكتونى جوفى بسبب إقتراب خزان جوفى للصهير Magma .



صورة (٧-٢٩) كهف Paradise الجليدى فى منطقة Mount Rainier فى نيوزيلندا
(المصدر : www. glaciercaves.com)



صورة (٧-٣٠) جسر جليدى ضمن مجموعة كهوف جليدية فى منطقة Big Four Ice Caves بإقليم Everett, Washington بالولايات المتحدة
(المصدر : www. glaciercaves.com)

وتنتشـــر العديـــد من الكهوف الجليدية فى جبال الألب سواء فى سويسرا و إيطاليا وفرنسا ، وولاية واشنطن الأمريكية ونيوزيلندا وكندا، وقد أتيحت للمؤلف فرصة زيارة أحد هذه الكهوف فى وادى "سشنالز Schnals " فى سلســلة جــبال الألب بالقرب من الحدود الإيطالية / السويســرية ، حيث يمتد هذا الكهف أفقياً تحت سطح الأرض لمسافة ٥٠٠ متر بعرض يبلغ حوالى ١٠ – ١٥ متر وإرتفاعه يتراوح بين ٢-٣ أمتار خلال فصل الصيف من كل عام ، ولكن يختلف طوله وإرتفاعه حســب متوسط درجة حرارة الجو خلال فصل الصيف ، يتكون هذا الكهــف بسبب إنسياب ينبوع حار من جوف الأرض ، يساعد على إنصهار بعض أجزاء من الجليد الجوفى مكوناً كهف أحادى المدخل على منســوب حــوالى ٣٤٢٠ متر ، و تتدلى من سقف الكهف أعمدة من الثلج الشفاف تتراوح أطوالها بين بضعة سنتيمترات وحوالى المتر الكامل، وهى تشبه الأعمدة النازلة من أسقف كهوف الكارست ، كما تتكون

عـــلى أرضية الكهف بركة طولية تتجمع فيها المياه الناتجة عن إنصهار الجليد (صورتا ٧-٢٩ و٧-٣٠)[١].

سادساً : تأثير التغيرات المناخية على الظاهرات الجليدية :

انعكست الظروف الجليدية التى طرأت على أجزاء العالم اثناء فترة البليستوسين بآثارها نتيجة تغير الظروف المناخية التى كانت سائدة بها ونتيجة التذبذب في منسوب مستوى القاعدة، ولقد أثر ذلك على عوامل التعرية الاخرى مثل التعرية النهرية والساحلية وكل أنواع التعرية فى مـــناطق الكارســـت، وتكـــررت فـــترات أو أطوار التغيرات المناخية عدة مرات خلال عصر البلايستوســـين، فهـــناك فترات جليدية متتابعة ومتعاقبة مع فترات أخرى غير جليدية . وهذا بطبيعة الحال يعكس آثار عوامل تعرية مختلفة .بمعنى ان سطح اى منطقة قد تعاقبت فوقه ظروف جيومورفولوجـــية تعاقـــبا رأســـيا اثناء فترة البليستوسين ، بمعنى أن المظهر الجيومورفولوجى أختلف فى نفس المكان خلال تلك الفترات ، أى ان هناك مظهراً جيومورفولوجياً ناتج عن أحد عوامل التعرية منطبعاً فوق مظهر جيومورفولوجي لعامل تعرية اخر، كما يجب ان نشير هنا ايضا أن الكـــثير من الظاهرات الجيومورفولوجية على سطح الارض فى الوقت الحاضر يدين بوجوده للظروف المناخية فى فترة البليستوسين.

---

[١] راجع الموقع التالى فى شبة إنترنت : www.glaciercaves.com

قائمة المراجع :

أولاً : مراجع باللغة العربية:

١. جودة حسنين جودة ، ١٩٩٦: الجيومورفولوجيا ، دار المعرفة الجامعية ، الإسكندرية، ٦٨٣ ص.

٢. ------------------- ، ١٩٩٧: معالم سطح الأرض ، الطبعة الخامسة ، دار المعرفة الجامعية ، الإسكندرية، ٦٢٨ ص.

٣. جـــودة فـــتحى الـــتركمانى ، ٢٠٠٣: أشـــكال الســـطح – دراســـة فى أصول الجيومورفولوجيا ، دار الثقافة العربية ، القاهرة، ٣٣٦ ص.

٤. حسن سيد احمد أبوالعينين ، ١٩٩٥: أصول الجيومورفولوجيا، الطبعة الحادية عشرة ، مؤسسة الثقافة الجامعية ، الإسكندرية، ٧٧٠ ص.

٥. -------------------، ١٩٩٨:الجغرافـــية الطبيعـــية ، مؤسسة الثقافة الجامعية ، الإسكندرية، ٥٨٤ص.

٦. محمد صبرى محسوب ، ١٩٩٨: جيومورفولوجية الأشكال الأرضية ، دار الفكر العربى، القاهرة، ٤٨٤ ص.

ثانياً : مراجع بلغات أجنبية:

1- Bates, R., and Jackson, J., eds., *Dictionary of Geological terms*. New York: Doubleday. 1984. 571.

2- Benn DI, and Evans, DJA. *Glaciers and glaciation*. London: Arnold. 1998. 734 p.

3- Berry, W.B.N., and Boucot, A.J., 1973, Glacio-eustatic control of Late Ordovician-Early Silurian platform sedimentation and faunal changes: *Geological Society of American Bulletin*, v. 84, p. 275-284

4- Drewry, D., 1986, *Glacial geologic processes*: London, Edward Arnold, 276 p.

5- Embleton, C., and King, C.A.M., 1975, *Glacial and periglacial geomorphology*: New York, Wiley, (2 volumes).

6- Gunay, Gultekin, Johnson, A. Ivan, *Karst Waters Environmental Impacts*, Rotterdam, A.A. Balkema, 1997.

7- Goudie, A.S.(Edit.), 2004, Encyclopedia of Geomorphology, International Association of Geomorphology, New York,1156p.

8- James, N.P., Choquette, P.W., *Paleokarst*, New York, Springer-Verlag, 1987.

9- Martin, Lawrence. 1965. *The physical geography of Wisconsin. Madison*, Wisconsin: University of Wisconsin Press. 608 p.

10-Martini IP, Brookfield ME, and Sadura S. *Principles of glacial geomorphology and geology*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. 2001. 381 p.

11-Paull RK, and Paull RA. *Geologic Field guides*: Devils Lake region, Door County, Kettle Moraine country, and zinc-lead district of Wisconsin. (Dept. of Geosciences, Univ. of Wisconsin--Milwaukee), Edina Minnesota: Burgess Int'l Group. 1988. 167 p.

12-Schneider AF. Road log, day 1. *In Pleistocene geomorphology and stratigraphy of the Door peninsula*, Wisconsin. 1993. Midwest Friends of the Pleistocene 40th annual meeting. May 21-23, 1993. Allan F. Schneider (Ed.) Sponsored by College of Science and Technology, University of Wisconsin--Parkside, Kenosha, Wisconsin. 117-138.

13-Sheehan, P.E. *The relation of Late Ordovician glaciation to the Ordovician-Silurian changeover in North American brachiopod faunas*: Lethaia, v. 6, p 147-155.

14-Smith, William B., *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*, New York, Oxford University Press, 1988.

15-Summerfield MA. *Global geomorphology: an introduction to the study of landforms*. Essex, England: Addison Wesley Longman Limited. 1991 537 p.

الفهارس

أولاً: فهرس الموضوعات

فهرس الأشكال

فهرس الصور

١٩٧	٧-٢٩	كهف Paradise الجليدى فى منطقة Mount Rainier فى نيوزيلندا	٤٦٥
١٩٨	٧-٣٠	جسر جليدى ضمن مجموعة كهوف جليدية فى منطقة Big Four Ice Caves بإقليم Everett, Washington بالولايات المتحدة	٤٦٥